

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
“FEDERICO II”**



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA NAVALE


***TESI DI DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA
AEROSPAZIALE, NAVALE E DELLA QUALITÀ XIX CICLO***

***“Sviluppo e ottimizzazione del progetto di unità navali con
tecniche Multiattributo”***

**Dottorando:
*Dott. Ing. Mario Stella***

**Tutor
*Dott. Ing. Carlo Bertorello***

**Coordinatore :
*Ch.mo. Prof. Antonio Moccia***



1 Introduzione

- Introduzione generale sul progetto navale
- Descrizione generale tecniche MADM
- Stato dell'arte
- Fattori d'influenza

PARTE I: IDENTIFICAZIONE DELLE PROCEDURE MULTIATTRIBUTE NEL CAMPO NAVALE

2 Applicazioni MADM al progetto navale

- 2.1 Il progetto navale
- 2.2 Linee generali di una progettazione MADM
- 2.3 Le tecniche MADM ed il basic design – una spirale di progetto ridotta

3 Le tecniche MADM

- 3.1 Linee generali di impostazione di un problema MADM
- 3.2 Alcune tecniche MADM in uso
 - 3.2.1 MADM senza informazioni da parte del progettista
 - 3.2.2 MADM che utilizzano diversi livelli standard di informazione
 - 3.2.3 MADM che richiedono l'assegnazione di pesi forniti a priori
 - 3.2.4 MADM i cui pesi sono generati oggettivamente nell'ambito del metodo
 - 3.2.5 MADM che utilizzano le funzioni di utilità

3.2.6 Classifica delle alternative

3.3 Esempi di applicazioni MADM nel campo navale

4 Peculiarità e fattori d'influenza

4.1 I moduli e la scelta degli attributi

4.2 La normalizzazione

4.3 La ranking list

5 Gestione delle preferenze sotto un profilo operativo

5.1 Il metodo soggettivo

5.2 Il metodo oggettivo

5.3 Il metodo integrato

***PARTE II: SVILUPPO ED APPLICAZIONE AGLI SCAFI A
SOSTENTAMENTO IDRODINAMICO***

6 I moduli di progetto

6.1 Dimensionamento strutturale: Norme e procedure di riferimento, la
 normativa ISO 12215

6.1.1 I materiali da costruzione e loro caratteristiche meccaniche

6.1.2 Il Lay-out strutturale

6.1.3 I carichi

6.1.4 Il dimensionamento strutturale

6.1.5 I coefficienti di sicurezza

6.1.6	Applicazione del modulo strutturale
6.1.7	Un esempio di applicazione del modulo strutturale
6.2	La resistenza al moto: Le imbarcazioni plananti ed il modello di Savitsky
6.2.1	Il modulo idrodinamico
6.3	La resistenza aggiunta e la tenuta al mare: Formule di Savitsky e Brown e del Lloyd Register
6.3.1	Il metodo di Savitsky e Brown
6.3.2	Il modulo di resistenza aggiunta e tenuta al mare
7	Sviluppo di un codice numerico relativo al modello di progetto
7.1	Algoritmi e fogli di calcolo
8	Conclusioni
	Bibliografia

1. INTRODUZIONE

1. INTRODUZIONE

L'idea stessa di nave implica la definizione di specifiche funzionali e caratteristiche relative ad un dato compito.

Proprio per l'ambiente in cui opera ed il contesto sociale ed economico cui essa è destinata, la nave non è inquadrabile in maniera statica, ma deve tener conto della variabilità dei parametri e dei requisiti tecnici coinvolti nella progettazione (esempio: esigenze economiche della società armatrice, esigenze di vita dell'equipaggio, normative tecniche di riferimento etc.).

Mentre le sue specifiche funzionali sono definite a priori ed in genere risultano essere input progettuali, l'attività di progettazione può giungere ad un intorno dell'obiettivo finale percorrendo strade che coinvolgono discipline diverse e diversi valori degli stessi parametri progettuali.

Il progetto di una nave di conseguenza è un'attività pluridisciplinare che coinvolge aspetti spesso in conflitto tra loro. In tale ambito i dati e le risorse disponibili sono utilizzati per generare alternative accettabili.

L'ottimizzazione del progetto può essere considerata come lo sviluppo e la valutazione delle alternative progettuali, intendendo con il termine "valutazione" un'attività cognitiva, svolta in maniera intenzionale, rivolta a fornire un giudizio su un complesso di azioni, vale a dire il progetto stesso, il cui strumento principale è la razionalizzazione di un processo decisionale.

Nella logica della "Spirale di Progetto" i differenti target progettuali sono considerati in sequenza allo scopo di ottenere la soluzione finale.

La competitività ed il dinamismo del mercato da un lato, e la disponibilità di nuove tecniche di progetto sviluppate in altri settori tecnologici dall'altro, si sono tradotte, negli ultimi anni, nella ricerca di metodi di progettazione che consentano di considerare simultaneamente più requisiti progettuali per l'identificazione di una soluzione ottimale. Un approccio di questo tipo, già utilizzato in molteplici applicazioni tecniche e sociali, è dato dalle tecniche di progettazione multicriteriale.

Il Multiple Criteria Decision Making (MCDM) è un processo decisionale in presenza di più criteri di decisione, ovvero la scelta di un'alternativa ammissibile effettuata sulla base di due o più criteri, lì dove per criterio si intende l'indicazione su come misurare le prestazioni in merito alle diverse alternative.

Scopo del MCDM è quello di trovare la migliore soluzione di compromesso valutando ogni alternativa generata dal progetto o di creare una ranking list di progetti già esistenti.

Le alternative considerate possono essere di numero discreto e finito, o continue ed infinite.

Misura delle prestazioni sono gli attributi nel caso di alternative discrete, o gli obbiettivi nel caso di alternative di tipo continuo e definiti come punto nello spazio delle variabili decisionali.

I problemi di MCDM si possono distinguere in problemi Multiattributo (Multi Attribute Decision Making, MADM) e problemi Multiobbiettivo (Multi Objective Decision Making, MODM). La differenza tra le tecniche MADM ed quelle MODM sta nel fatto che mentre la prima comporta la selezione tra un numero discreto di alternative, la seconda consiste nella progettazione della migliore alternativa tra le possibili conosciute non necessariamente in maniera esplicita. Indipendentemente da questa distinzione i metodi decisionali multicriterio hanno tutti una struttura comune data dai seguenti punti:

- ☞ informazioni fornite dal decisore (giudizi di preferenza);
- ☞ formulazione del problema (obbiettivi ed alternative);
- ☞ definizione delle alternative fattibili;
- ☞ metodo MCDM (regole di decisione, ipotesi sulle strutture di preferenza);
- ☞ decisione (ordinamento e scelta tra le alternative).

Detto ciò, è possibile affermare che tra le tecniche decisionali quella MADM è la più praticata e investigata nel campo navale.

Una tecnica MADM prevede la definizione di un modello di progetto costituito dall'insieme di più moduli che permettano di valutare le prestazioni del progetto stesso.

Inoltre si considerano:

- ☞ variabili: dati di input per il modello di progetto che vengono modificati, uno alla volta, durante le successive esecuzioni del modello;
- ☞ parametri: dati di input per il modello di progetto simili alle variabili che non vengono modificati;
- ☞ attributi: dati di output attraverso i quali viene giudicata la qualità ottenuta;
- ☞ limiti: simili agli attributi e sono usati per limitare il progetto al campo di fattibilità.

Per la scelta del progetto finale vengono creati un gran numero di progetti fattibili attraverso l'elaborazione del modello ripetuto più volte, dando valori diversi alle variabili entro limiti definiti.

Tra tutti i progetti fattibili sono conservati solo quelli dominanti.

Il concetto di dominante è peculiare delle tecniche di risoluzione multicriteriale. Un'alternativa risulta essere dominante rispetto ad un'altra quando un miglioramento di uno qualsiasi degli attributi considerati può essere raggiunto solo a detrimento di almeno uno dei restanti attributi.

La superficie d'unione delle alternative dominanti nello spazio a K dimensioni, dove K è il numero di criteri decisionali adottati, viene detta "fronte di Pareto" e rappresenta le soluzioni per cui il miglioramento in termini di ciascun criterio può essere raggiunto soltanto a scapito degli altri.

La strategia di calcolo per la risoluzione multicriteriale è allora quella di definire questo fronte e trovare su di esso il punto più vicino al progetto ideale (progetto utopia) nella regione di fattibilità: questo rappresenta il migliore tra i progetti fattibili che il nostro modello è capace di realizzare.

E' subito evidente che tali tecniche possono servire sia per generare un progetto ottimale sia per classificare progetti di navi esistenti sulla base degli attributi scelti.

Ma se la strategia di risoluzione è quella sopra enunciata, l'impostazione del progetto passa, allo stato attuale di sviluppo di queste metodologie, attraverso tre punti chiave. In primo luogo la scelta dei criteri è una parte importante del processo essendo capace di interessare notevolmente la scelta dell'alternativa finale. Successivamente, diventa necessario definire l'ordine di priorità e preferenza del progettista in relazione ai criteri specificati. Infine, una volta che sono stati selezionati i criteri adatti ed è stato sviluppato con successo un metodo che mira a bloccare le preferenze, l'ultima funzione da trattare è l'istituzione di regole che aiutino il progettista a predisporre una classifica di tutte le alternative di progetto, eventualmente dando la possibilità allo stesso di selezionare quelle a lui preferite.

Detto ciò, se da un lato un approccio metodologico MADM al problema "progettazione" può condurre ad un notevole risparmio di tempo, dall'altro, allo stato attuale dello sviluppo di tali metodologie nel campo navale, la sua applicazione rischia di essere laboriosa ed onerosa se applicata alla progettazione di dettaglio ed esecutiva.

Ne segue che queste tecniche offrono oggi la possibilità di essere utilizzate efficacemente limitando il campo di esplorazione alle alternative di effettivo ed

immediato interesse sulla base di modelli di progetto che tengano conto degli attributi effettivamente gestibili.

La capacità delle tecniche MADM di considerare simultaneamente più progetti sulla base di criteri spesso in conflitto fa di queste una alternativa alla metodologia di progettazione sequenziale ed uno strumento prezioso di risoluzione di problemi di scelta tra progetti esistenti.

In relazione a questo ultimo aspetto vi è da sottolineare come, nel momento in cui il problema sia solo di scelta, le tecniche MADM consentono di selezionare l'alternativa migliore sulla base degli elementi caratterizzanti il progetto.

Diversamente, nel caso di un problema di progetto propriamente detto, la bontà della soluzione progettuale trovata è subordinata alla corretta impostazione tecnica con particolare riguardo ai criteri utilizzati, in relazione all'obiettivo prefissato, ed alla capacità del modello progettuale di essere efficacemente rappresentativo dei criteri prescelti.

Il modello di progetto, il cui scopo è quello di fornire un legame funzionale tra parametri progettuali e attributi rappresentativi del progetto, da un lato è il primo passo verso una corretta risoluzione di un problema MADM, dall'altro è l'espressione matematica di relazioni funzionali che descrivono il comportamento fisico della nave. In tale ottica la parametrizzazione del modello passa attraverso il background culturale del progettista e la popolazione di dati che precedenti esperienze progettuali hanno messo a sua disposizione.

La selezione, tra questi, di un campione omogeneo che sia rappresentativo della tipologia di nave e dei criteri selezionati fornisce buone garanzie di rappresentatività dei fenomeni fisico funzionali che si vogliono schematizzare, mentre i criteri prescelti devono essere significativi per il problema da risolvere.

La gerarchizzazione del problema, talvolta evidenziata dalla tecnica stessa (es. Analytic Hierarchic Process), mostra le dirette dipendenze tra gli elementi che lo compongono. Il legame di subordinazione esistente tra l'obiettivo e le alternative progettuali rende possibile pensare di operare la scelta dei parametri su considerazioni estese a tipologie simili di navi e per simili profili di missione.

Altro punto cruciale delle tecniche MADM sono le strutture di preferenza.

Anche quando il metodo scelto non le considera esplicitamente, le preferenze del progettista vengono espresse ugualmente mediante una classificazione di importanza degli attributi stessi.

L'assegnazione delle strutture di preferenza, indipendentemente dalla modalità e dalla tecnica utilizzata, non può prescindere dal gusto, dall'esperienza e dall'intuito di chi è attore principale del processo decisionale e cioè il progettista, ma deve anche e necessariamente tener conto del valore intrinseco oggettivo e del valore reciproco degli attributi stessi. A seconda che la tecnica adottata sia capace di tenere in conto solo le preferenze del progettista, ovvero solo dell'intrinseco "valore" degli attributi, piuttosto che di entrambi, il risultato finale sarà differente.

Ultima considerazione è che, indipendentemente dal grado di diversificazione degli attributi, è bene tener conto della diversificazione degli attributi stessi attraverso metodi di normalizzazione che consentano di considerare tutte le informazioni fornite dagli stessi.

Aspetto non trascurabile dell'applicazione di tecniche MADM, è la possibilità di affiancare ad aspetti prettamente tecnici, criteri di carattere economico che opportunamente inseriti come modulo a se stante del progetto, divengono parte integrante del processo MADM al pari degli aspetti tecnici.

***PARTE I: IDENTIFICAZIONE DELLE PROCEDURE
MULTIATTRIBUTE NEL CAMPO NAVALE***

2. APPLICAZIONI MADM AL PROGETTO NAVALE

2.1 IL PROGETTO NAVALE

Progettare è, in generale, quella attività che ha per scopo la formulazione di una proposta per il conseguimento di un fine.

Si è probabilmente persa nel tempo la prima idea che fu sviluppata in maniera organica e concreta facendo sì che il proposito che l'aveva generata desse origine ad un progetto. Con il termine "progetto", indipendentemente dall'origine etimologica da cui lo si fa provenire, si sta ad indicare un'azione compiuta dall'uomo che porta dal concepimento di un'idea alla sua realizzazione attraverso l'elaborazione e la redazione di tutta la documentazione (cartacea, informatica o sotto qualunque altre forma possa essere ritenuta utile allo scopo) necessaria all'esplicazione dell'idea stessa.

Quanto più la "cosa" in progetto è originale e complessa, tanto più l'attività per concepirla e di porre in essere tutto quanto sia necessario alla sua realizzazione è elevata.

Tra le opere di ingegneria, la nave è certamente una delle più complesse operando in un ambiente particolare, mutevole (moto ondoso, correnti) e soggetto ad agenti atmosferici (vento, pioggia, nebbia, ecc.).

Alle origini colui che iniziò la redazione di un progetto navale, utilizzò metodologie elaborate in funzione degli strumenti a sua disposizione.

All'inizio, dunque, un tronco d'albero costituì il primo precario mezzo di trasporto, che tuttavia divenne presto evoluto ed affidabile divenendo progressivamente la forma più compiuta di un'imbarcazione. Parallelamente la teoria a supporto alla progettazione seguì il suo corso portando alla ricerca di nuovi strumenti che consentissero un modo più spedito ed accurato di procedere.

Le innovazioni introdotte rispettavano il preciso scopo per cui una nave viene progettata e realizzata mutando nel tempo a causa dei cambiamenti economici e commerciali (nave mercantile), o dell'evolversi delle strategie e dei mezzi di attacco e/o difesa (nave militare), o dall'impiego di nuove tecnologie (nave per servizi speciali).

Nel corso dei secoli pur essendo cambiate le metodologie di progetto e gli strumenti di costruzione, non sono variate le logiche di concepimento della stessa.

La mutevolezza delle condizioni socio economiche cui una nave deve soddisfare e la necessità di ottemperare tempestivamente alle richieste del mercato, impongono che la sua progettazione e realizzazione debbano avvenire in un tempo quanto più breve possibile.

Una nave viene concepita e realizzata per conseguire un determinato scopo. Ad esempio, per una nave mercantile, lo scopo che la società armatrice vuole conseguire è sempre quello di realizzare un profitto economico il più grande possibile. Analogamente per una nave militare lo scopo da conseguire è sempre quello di potenziare la capacità di difesa e/o di attacco. Questi assiomi di carattere generale, ed ovvi, si devono concretizzare in qualcosa di più certo e pratico che sia utilizzabile nella pratica professionale come punto di partenza nella progettazione di una nuova nave.

Nasce quindi l'esigenza di definire il "Profilo di missione" e cioè quell'"elenco di voci", eventualmente corredate da note chiarificatrici, tutte riguardanti ciò che la nave deve fare e/o deve assicurare attraverso la definizione di tutti i requisiti, le funzioni, le caratteristiche, i vincoli, ecc. che essa dovrà avere e che si tradurranno in dati di input del progetto.

Questi ultimi non possono e non devono essere tratti prescindendo dalle esperienze pregresse. Lo studio di esse e l'analisi del prodotto che si vuole realizzare forniscono le prime risposte alle esigenze di costruzione della nave stessa e definiscono altresì i limiti e i vincoli che la nave dovrà avere per soddisfare pienamente il profilo di missione per cui sarà progettata.

Il progetto di una nave è quindi preceduto da una fase propedeutica cioè da uno studio di preparazione o di fattibilità e può assumere importanza e complessità diverse a seconda del tipo di nave e del contesto in cui l'idea nasce.

Questa prima fase è determinante per la buona riuscita della nave, pone le basi su cui si andrà a sviluppare e detta i parametri progettuali di primo interesse.

Al termine dello studio di fattibilità si passa al progetto di massima che ha lo scopo di fissare gli elementi che definiscono l'opera e che consentono una prima valutazione economica del costo di costruzione in modo da poter successivamente formulare un'offerta alla società armatrice. Nell'elaborazione del progetto di massima vengono determinate le dimensioni principali, valutata la potenza propulsiva e scelto il più idoneo tipo di apparato motore; viene stimato il dislocamento; si studia la più opportuna suddivisione dei volumi (anche in relazione alla compartimentazione) e si esegue una stima della stazza lorda e netta; vengono effettuati calcoli per valutare la stabilità; si esegue un proporzionamento di larga massima delle strutture; si stima il peso dello scafo, dell'allestimento, dell'apparato motore e dei consumabili; si studiano i mezzi per la movimentazione del carico; si esaminano gli impianti principali; si elabora una valutazione dei costi e dei tempi di realizzazione.

Una volta terminato il progetto di massima si passa al progetto per il contratto e quindi al progetto esecutivo.

Le diverse fasi del progetto sono riassunte nel prospetto seguente.

FASI DEL PROGETTO DI UNA NAVE:

- ☞ Progetto di idea;
- ☞ Progetto di fattibilità;
- ☞ Progetto preliminare;
- ☞ Progetto per il contratto;
- ☞ Progetto esecutivo.

Tutto quanto sopra detto comporta un necessario ma decisamente cospicuo impegno di uomini e mezzi e questo perché il modo tradizionale di occuparsi di un problema di progettazione di una nave è quello di ricorrere ad un metodo iterativo che, mirando alla soluzione ottimale persegue la soluzione accettabile attraverso il successivo “aggiustamento” dei vari requisiti progettuali considerati. In tal senso i differenti parametri del progetto come la potenza, la resistenza, la stabilità e tenuta a mare sono state considerate in sequenza allo scopo di ottenere la soluzione finale.

E' la logica della “Spirale di Progetto” (Figura 2.1.1) che vede considerare gli stessi elementi progettuali a vari livelli di dettaglio partendo da un profilo di missione sino ad arrivare alla realizzazione dell'opera.

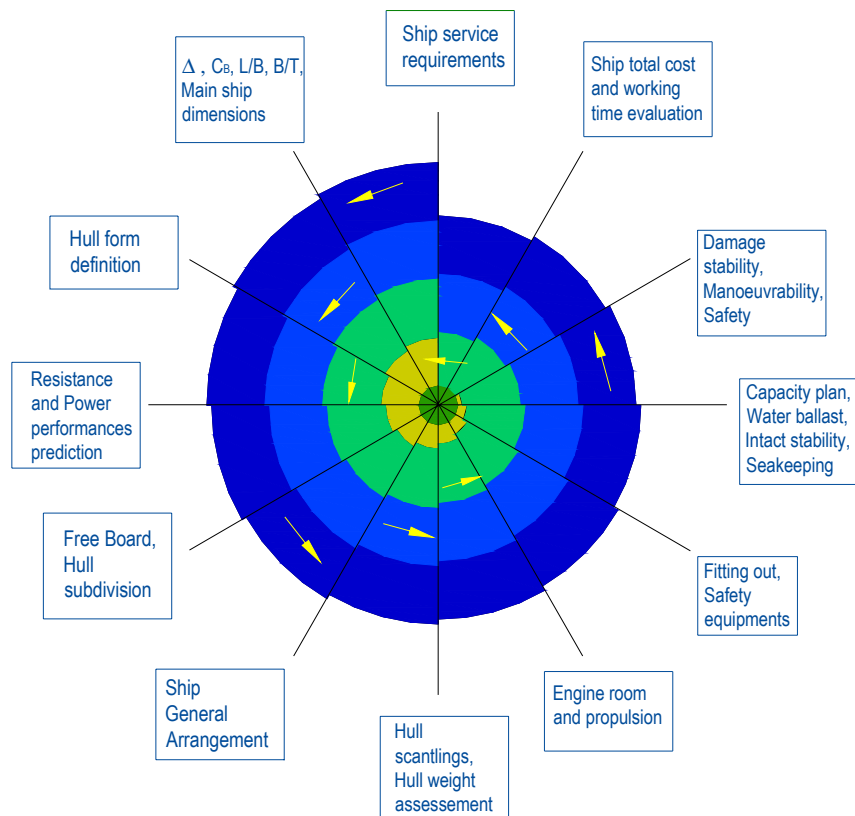


Fig. 2.1.1: Spirale di Progetto

In tal senso la sopra citata spirale progettuale è la strada che il progettista percorre ed i raggi della spirale (elementi decisionali) altri non sono che le tappe su cui esso deve, di volta in volta, soffermarsi a considerare, al fine di eliminare elementi di incertezza. Il numero di elementi decisionali varia da progetto a progetto e dipende dal tipo di nave considerata, dai vincoli imposti, dalle caratteristiche richieste e dai requisiti tecnici necessari ma, gioco forza, man mano che il progettista si sposterà dall'idea del profilo di missione alla realizzazione dell'opera, gli stessi verranno considerati più volte e con sempre maggiore precisione.

E' ovvio che, essendo la spirale di progetto una schematizzazione, la sequenza dei singoli insiemi (raggi della spirale) non va considerata in modo rigido, ma è possibile che sia necessario, a volte, saltare una o più stazioni (spostamento lungo la spirale), così come è possibile che sia necessario procedere subito all'approfondimento di un argomento (spostamento lungo un raggio della spirale).

I tempi per la stesura di un progetto di una nave con questa metodologia sono notevoli. Senza perdere di generalità si può asserire che i tempi spesi per le diverse fasi di progettazione in percentuale delle ore totali necessarie, ammontano a:

☞ progetto di fattibilità....	0.05 %
☞ progetto preliminare....	0.50 %
☞ progetto di contratto....	7.45 %
☞ <u>progetto esecutivo.....</u>	<u>92.00 %</u>
☞ totale.....	100.00 %

Per contro, la vita produttiva della stessa è molto breve se paragonata ad opere di ingegneria di pari costo, mediamente dopo venti anni l'operatività di una nave diventa minima.

Inoltre la produttività stessa impone alla nave d'essere adempiente nei confronti delle normative di riferimento per la progettazione navale che vengono periodicamente rivedute col risultato che colui che si accinge a progettare è obbligato a tener conto delle possibili variazioni di normativa, realizzando un'opera che possa essere modificata nel tempo a seconda delle esigenze tecniche, senza peraltro stravolgere il progetto ed impiegando risorse economiche accettabili. Così come è obbligato a tener conto delle possibili conversioni d'uso che l'unità può subire a causa di logiche di mercato. Ciò significa tener conto nella progettazione di un numero di requisiti, cui la nave deve soddisfare, maggiore rispetto a quello strettamente necessario per la sua immediata utilizzazione.

Ma se da un lato la progettazione navale confida nella spirale di progetto come iter funzionale al raggiungimento di target progettuali che si concretizzano nel profilo di missione della nave, le esigenze di un mercato in continua evoluzione alla ricerca dell'abbattimento dei costi, senza peraltro penalizzare la qualità, necessita di soluzioni che possano essere improntate al risparmio delle tempistiche di progettazione.

Nell'ultimo quarto di secolo, si sono sviluppate alcune procedure innovative di ottimizzazione che sono andate sempre più trasformandosi, diventando così parte integrante di molti sistemi di progettazione assistita da elaboratore. Queste mirano a realizzare un processo di sintesi basato sulla valutazione simultanea di tutti i requisiti del progetto stesso, al fine di fornire una classifica delle alternative progettuali fattibili.

Al di là di questo aspetto il successo delle tecniche MADM è dovuto alla loro peculiarità di considerare simultaneamente più progetti o più attributi nell'ambito dello stesso progetto, come si vedrà in dettaglio nel seguito.

2.2 LINEE GENERALI DI UNA PROGETTAZIONE MADM

Come già detto gli sforzi progettuali si sono orientati, nell'ultimo quarto di secolo, nella ricerca di metodi di progettazione alternativi, in particolare nella ricerca di metodi di progettazione che consentissero di raffrontare tra loro più requisiti progettuali all'interno dello stesso progetto e di più progetti sulla base degli stessi requisiti progettuali.

In tal senso un notevole ausilio è stato fornito dall'evoluzione e dall'utilizzo dei calcolatori elettronici. Si pensi, ad esempio, alla possibilità offerta da questi attraverso software dedicati, di variare a piacimento le forme di carena e di verificare immediatamente dopo l'effetto dei cambiamenti, per esempio, sull'idrostatica della nave. Si è passato così dalle sale dei tracciati all'uso di programmi CAD, ed ancora mutuando da differenti capi di applicazione ingegneristica, ci si è orientati verso le tecniche di Multiple Criteria Decision Making e più in particolare verso quella detta Multi Attribute Decision Making.

Il Multiple Criteria Decision Making (MCDM) può definirsi un processo decisionale in presenza di più criteri di decisione, ovvero la scelta di un'alternativa ammissibile effettuata sulla base di due o più criteri, lì dove per criterio si intende l'indicazione su come misurare le prestazioni per le diverse alternative.

Scopo del MCDM è quello di trovare la migliore soluzione di compromesso valutando ogni alternativa generata dal progetto, ovvero creare una ranking list di progetti già esistenti.

Le alternative considerate possono essere di numero discreto e finito, o continue ed infinite. Misura delle prestazioni sono gli attributi, utilizzati nel caso di alternative discrete, o gli obbiettivi, utilizzati nel caso di alternative di tipo continuo e definiti come punto nello spazio delle variabili decisionali.

I problemi di MCDM si possono distinguere in problemi Multiattributo (Multi Attribute Decision Making, MADM) e problemi Multiobbiettivo (Multi Objective Decision Making, MODM).

Un tale approccio si basa sulla considerazione per cui la soluzione ottimale è una soluzione "utopia" e la scelta della soluzione ottimale, tra le varie ipotesi progettuali, deve necessariamente passare attraverso i parametri ed i criteri utilizzati nella valutazione.

Lo scopo dell'analisi multicriteriale è trovare la migliore soluzione di compromesso valutando ogni alternativa generata dal progetto all'interno della regione di fattibilità attraverso la considerazione di criteri differenti spesso in conflitto tra loro.

In altre parole una decisione multicriteriale è la scelta di un'alternativa ammissibile effettuata sulla base di due o più criteri, lì dove per criterio si intende l'indicazione su come misurare i parametri (attributi) per le diverse alternative.

Prima di procedere oltre, descrivendo ciò che diverrà l'argomento principe del presente lavoro, è necessario soffermarsi ed effettuare una serie di precisazioni che consentiranno di porre le basi ad indirizzare i ragionamenti verso un obiettivo concreto e raggiungibile utilizzando una terminologia che diverrà essenziale nel prosieguo, verso un obiettivo sostenibile.

La differenza tra le tecniche MADM e quelle MODM sta nel fatto che mentre la prima comporta la selezione tra un numero discreto di alternative, la seconda consiste nella progettazione della migliore alternativa tra le possibili conosciute non necessariamente in maniera esplicita. Indipendentemente da questa distinzione i metodi decisionali multicriterio hanno tutti una struttura comune di seguito schematizzata in Figura 2.2.1:

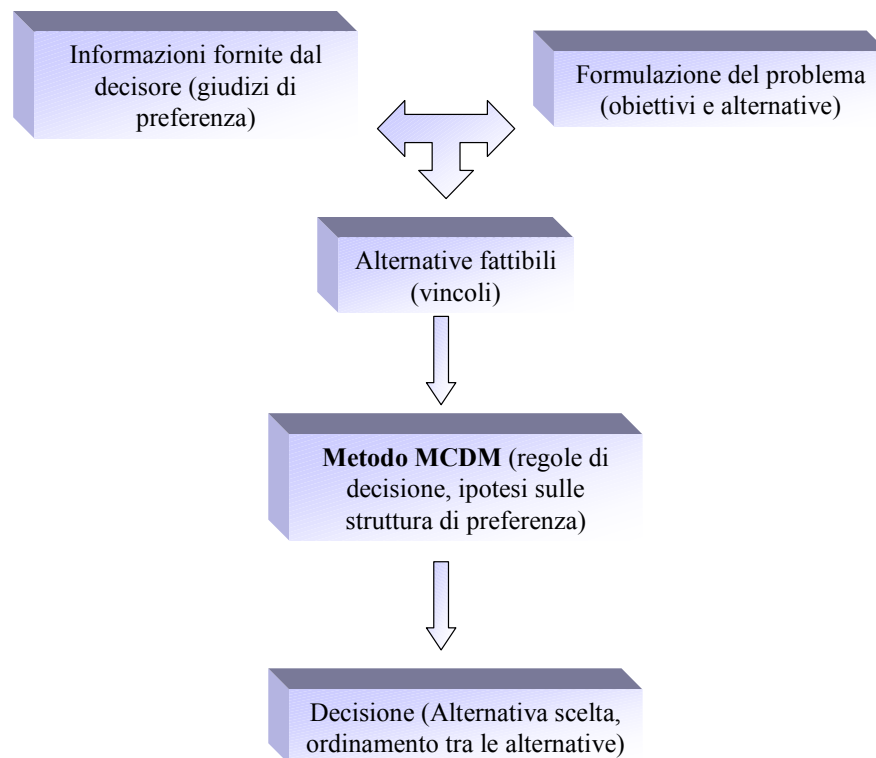


Fig 2.2.1:Struttura delle metodologie MCDM

Tra le tecniche MCDM, la più praticata nel campo navale è quella MADM. Questa prevede la definizione di un modello di progetto costituito dall'insieme di più moduli che permettano di valutare le prestazioni del progetto stesso. Inoltre si considerano:

- ☛ variabili: dati di input per il modello di progetto che vengono modificati, uno alla volta, durante le successive esecuzioni del modello;
- ☛ parametri: dati di input per il modello di progetto simili alle variabili che non vengono modificati;
- ☛ attributi: dati di output attraverso i quali viene giudicata la qualità del progetto;
- ☛ limiti: simili agli attributi, sono usati per "limitare" il progetto al campo di fattibilità.

Per la scelta del progetto finale vengono creati un gran numero di progetti fattibili attraverso l'elaborazione del modello ripetuto più volte dando valori diversi alle variabili entro limiti definiti.

Altro termine di cui è fondamentale comprendere il significato è "dominante" poiché tra tutti i progetti fattibili sono conservati solo quelli dominanti.

Il concetto di dominante è peculiare delle tecniche di analisi multicriteriale. Un'alternativa risulta essere dominante rispetto ad un'altra, quando un miglioramento di uno qualsiasi degli attributi considerati può essere raggiunto solo a detrimento di almeno uno dei restanti attributi.

La superficie d'unione delle alternative dominanti nello spazio a K dimensioni, dove K è il numero di criteri decisionali adottati, viene detta "fronte di Pareto" e rappresenta le soluzioni per cui il miglioramento in termini di ciascun criterio può essere raggiunto soltanto a scapito degli altri.

La strategia di calcolo per la risoluzione multicriteriale è allora quella di definire questo fronte, secondo una logica che verrà dettagliata più avanti, e trovare il punto su di esso più vicino al progetto ideale (progetto utopia) nella regione di fattibilità: questo rappresenta il migliore tra i progetti fattibili che il nostro modello è capace di realizzare. E' subito evidente che tali tecniche possono servire sia per generare un progetto ottimale sia per classificare progetti o navi esistenti sulla base degli attributi scelti.

Per meglio chiarire i concetti sopra enunciati si supponga di occuparsi del problema della selezione della soluzione di progetto migliore che considera tre criteri differenti: U_{si} , U_{ni} e U_{nj} la cui misura di merito è data da tre attributi. Senza perdere di generalità possiamo considerare i tre criteri come criteri da massimizzare (nel caso di un criterio di

minimizzazione, è facile ritornare al caso della massimizzazione cambiando solo il segno).

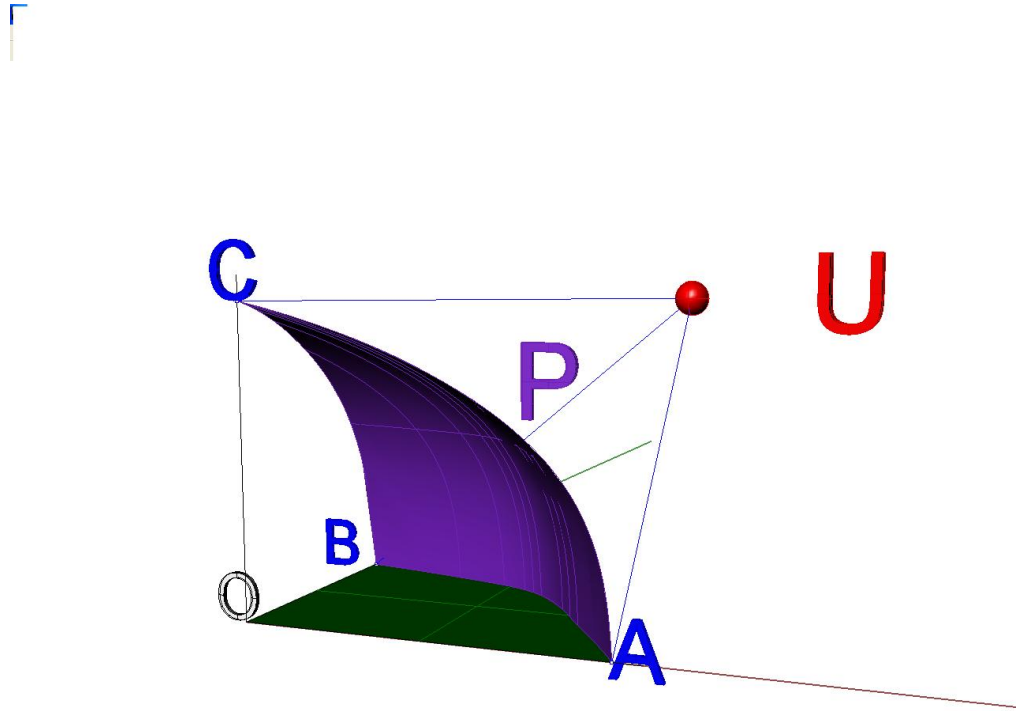


Fig. 2.2.2: Fronte di Pareto

Le soluzioni estreme della superficie P sono state ottenute perseguendo l'obiettivo di massimizzare solo un criterio alla volta. La soluzione ideale, che unisce le prestazioni di queste tre soluzioni, sarebbe quella rappresentata dal punto U. Purtroppo, come accade spesso, questa soluzione può essere irraggiungibile a causa di vincoli fisici ed operativi che realmente limitano la gamma di soluzioni possibili da esplorare. Il problema è allora quello di individuare la miglior soluzione all'interno della regione di fattibilità del progetto, rappresentata nella Figura 2.2.2 come la regione racchiusa tra i piani AOB, BOC, COA e dalla superficie P.

Consideriamo la soluzione rappresentata dal punto O. Tutte le soluzioni all'interno della regione di spazio racchiusa tra i piani AOB, BOC, COA e dalla superficie P sono indubbiamente migliori della soluzione O almeno riguardo ad un criterio. La soluzione O può quindi essere considerata come dominata da tutte le soluzioni all'interno del cuneo protetto. Appena il punto O si avvicina alla superficie P, l'insieme delle soluzioni dominanti relative si riduce. Quando il punto O giace sulla superficie P di contorno, non

vi sono più soluzioni che lo dominano. Ciò è vero per ogni punto che si trova sul contorno. I punti sul contorno rappresentano quindi le soluzioni dominanti, per le quali il miglioramento in termini di criterio, può soltanto essere raggiunto a scapito degli altri. La superficie P è detta “fronte di Pareto” e contiene tutte le soluzioni di interesse perché qualunque punto non appartenente ad esso sarà comunque dominato.

Ma se la strategia di risoluzione è quella sopra enunciata, l'impostazione del progetto passa attraverso tre punti chiave. In primo luogo la scelta dei criteri è una parte importante del processo essendo capace di interessare notevolmente la scelta dell'alternativa finale. Ancora, diventa necessario per il progettista definire l'ordine di priorità e preferenza in relazione ai criteri specificati. Infine, una volta che sono stati selezionati i criteri adatti ed è stato sviluppato con successo un metodo che mira a bloccare le preferenze, l'ultima funzione da trattare è l'istituzione di regole che aiutino il progettista a predisporre una classifica di tutte le alternative di progetto eventualmente lasciandogli la possibilità di selezionare quelle a lui preferite.

2.3 LE TECNICHE MADM ED IL BASIC DESIGN – UNA SPIRALE DI PROGETTO RIDOTTA

Si sono considerati sino ad ora, separatamente le linee generali di approccio al progetto navale tradizionale e quelle su cui si basano le procedure di progetto Multi Attribute Decision Making.

E' convinzione di chi scrive che se l'intento è quello di applicare tali procedure al campo navale, gioco forza sarà trovare una logica che consenta di non stravolgere l'approccio tradizionale, ma che sia di supporto alla progettazione nel rispetto di quanto di positivo c'è nella spirale di progetto. E questo è ovvio poiché se l'obiettivo è quello di giungere ad uno strumento che faccia dell'utilità pratica il suo punto di forza, è necessario che lo stesso strumento sia "fattibile".

La nave è un insieme complesso, anzi, è una federazione di insiemi complessi che devono essere affidabili e perfettamente integrati. Detti insiemi riguardano le forme di carena, le strutture dello scafo, l'apparato che fornisce la potenza propulsiva, l'apparato che utilizza detta potenza, l'organizzazione e la funzionalità di tutti gli spazi di bordo, l'apparato che fornisce la potenza elettrica (le cui utenze variano a seconda che la nave è in navigazione, in porto per le operazioni di carico o scarico, alla fonda, in disarmo, ecc.), gli apparati di governo e manovrabilità (timoni, eliche trasversali, ecc.), gli apparati dedicati al carico (zavorramento, bilanciamento, movimentazione, condizionamento, ventilazione, controllo, ecc.), gli apparati di navigazione (per la condotta, il controllo, la gestione automatica, ecc.), gli apparati di sicurezza (incendio, chiusura porte stagne, controllo del carico, scarico fuori bordo di grandi masse d'acqua, ecc.), gli apparati per l'ormeggio ed il salpamento, ecc. ecc.

Il numero di ore necessario per arrivare a definire tutti gli aspetti di un progetto seguendo la tradizionale spirale di progetto senza arrivare alla definizione della nave negli aspetti descritti nel progetto esecutivo, come già fatto rilevare, arriva ad essere circa il 9% del numero totale di ore necessarie per la progettazione ed è speso per fare in modo che il team progettuale arrivi a validare la bontà delle ipotesi fatte sugli aspetti base che fungeranno da punto di partenza per la stesura di quella che diverrà una nave.

E' in tale fase progettuale che l'utilizzo delle procedure MADM può venire in aiuto alla progettazione, offrendo la possibilità al team progettuale di snellire le tempistiche decisionali ottimizzando non già da subito tutto il progetto, cosa per altro a questo punto

dello stato dell'arte di tale metodologia “utopica”, ma gli aspetti base su cui fondare quello che diverrà un progetto “ottimale”. Proviamo adesso ad utilizzare un escamotage ardimentoso per interfacciare ed intrecciare le vie dell'approccio tradizionale al progetto e l'approccio fornito dalle tecniche MADM

Consideriamo il primo giro delle spirale di progetto, la sintesi grafica di quanto sopra detto, e proviamo ad immaginare per semplicità di schematizzazione di estrapolare da questa gli step che lo compongono, allinearli su un unico livello e di considerarli simultaneamente (Figura 2.3.1), possiamo idealmente dire di aver posto le basi per lo sviluppo dei moduli progettuali che sono il primo passo per l'applicazione di una procedura MADM al basic design, risparmiando così il numero di ore associate nell'approccio tradizionale a questa fase della progettazione.

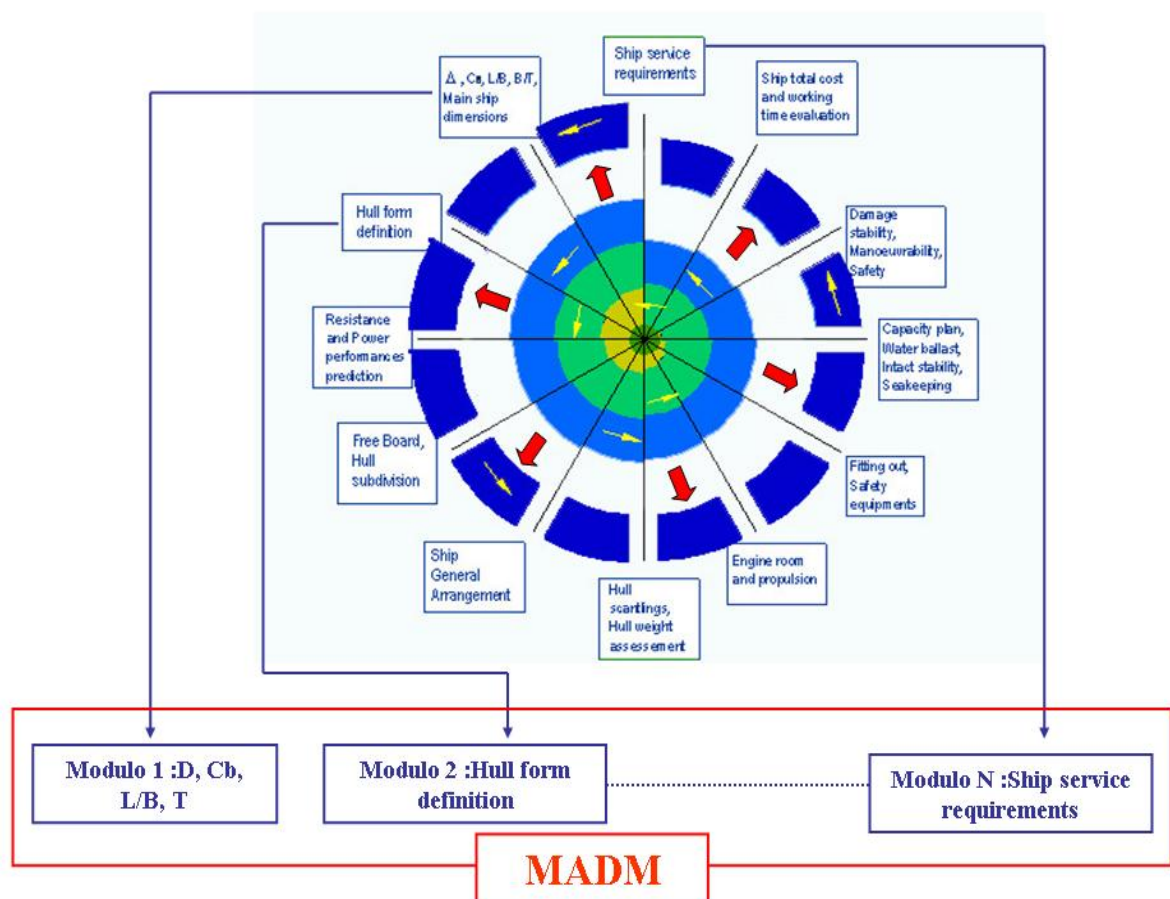


Fig. 2.3.1: Adeguamento della spirale di progetto alle procedure MADM

E' facile intuire che se l'obiettivo finale di un processo MADM è quello di pervenire ad una indicazione su quale sia il progetto ottimale tra quelli fattibili, è chiaro che questo non può prescindere dai moduli di progetto.

Il numero di moduli progettuali considerabili dipende non tanto dai "criteri" che è necessario scandagliare per pervenire al progetto ottimale, quanto dalla nostra capacità di elaborare ed interpretare correttamente, all'interno di una tecnica MADM, i moduli stessi.

In particolare, se consideriamo questi come gli strumenti attraverso cui misurare la bontà delle ipotesi fatte, è presumibile che la coerenza e la capacità dei moduli di rappresentare la realtà investigata siano direttamente proporzionali alla bontà dei risultati attesi.

Si noti che un modulo non necessariamente rappresenta un fenomeno fisico schematizzabile attraverso un algoritmo matematico (resistenza, seakeeping etc.), ma può esprimere un qualsiasi aspetto che sia di particolare rilevanza per il problema progettuale che si vuole investigare (costi, preferenze dell'armatore etc.). In tale ottica, quindi, la scelta iniziale degli aspetti da sottoporre ad analisi riveste un ruolo rilevante poiché la risposta della metodologia MADM in termini di risultato finale sarà legata ed avrà una sua validità solo nell'ambito delle scelte iniziali fatte.

Un'ulteriore aspetto da considerare nella scelta dei moduli progettuali su cui basare una tecnica MADM è legato all'esigenza di mercato, sempre più pragmatico ed attento nei confronti dei costi, di avere dagli ambienti scientifici risposte immediate ed applicabili in termini progettuali; un esempio eclatante di tale necessità è la corsa all'industrializzazione di prodotto come elemento primario per l'abbattimento dei costi di produzione.

Da quanto prima detto si è ritenuto opportuno in questo contesto di limitare gli aspetti investigati attraverso le procedure MADM alla fase di basic design

Il considerare poi un numero consistente di moduli progettuali porta a livello pratico ad un altro inconveniente che rischierebbe di inficiare i risultati dell'intera procedura applicata.

Come descritto precedentemente, una procedura MADM si basa sull'applicazione di un processo decisionale per la scelta di un'alternativa ammissibile tra le diverse ottenute entro determinati limiti.

In tale processo decisionale il progettista si interfaccia con l'algoritmo di calcolo prescelto fornendo ad esso la parte più sensibile di tutto il processo, definendo cioè l'ordine di priorità e preferenza in relazione ai criteri specificati.

Se la scelta di moduli appropriati è sinonimo di una corretta considerazione delle variabili ambientali (valori di output) che rappresentano l'aspetto quantizzabile di un problema di progetto, l'applicazione efficace di una tecnica MADM non può prescindere dal giudizio, dal gusto e dall'esperienza di chi, partendo dal risultato base ottenuto, svilupperà il progetto per renderlo mirato al target prefissato e funzionale in tutti i suoi aspetti.

L'importanza del giudizio del progettista, giudizio espresso a volte attraverso l'utilizzo di strutture di preferenza ed a volte implicito e tenuto in debito conto dalla tecnica scelta, ha portato a sviluppare metodologie (Es. Metodo di Ma Fan Huang) che consentono di valutare separatamente l'importanza stessa che gli attributi hanno in relazione alla loro magnitudine, lasciando che il progettista possa esprimere liberamente il proprio giudizio indipendentemente dal valore quantitativo dell'attributo considerato.

Volendo validare il concetto per il quale l'utilizzo di una tecnica MADM è estendibile a criteri di scelta non necessariamente uniformi sotto il profilo decisionale e spesso in conflitto tra loro, in "Preference communication in multiattribute procedures for optimised ship design" [5] si utilizzano quali moduli progettuali la resistenza come criterio prettamente tecnico, i costi di acquisto come modulo economico, le preferenze dell'utente e la Transport Efficiency come criterio qualitativo indipendente dalle volontà del progettista.

In conclusione l'allocazione di una tecnica MADM, al fine di risolvere un problema di progetto allo stadio di basic design, altro non è che percorrere simultaneamente i raggi di una spirale di progetto fermando la ricerca dell'ottimale ai primi raggi della stessa, senza avere la pretesa di giungere da subito al target definito dal profilo di missione per prendere poi spunto dai risultati ottenuti e svilupparli per quanto di certo hanno fornito.

3. LE TECNICHE MADM

3.1 LINEE GENERALI DI IMPOSTAZIONE DI UN PROBLEMA MADM

Si sono confrontate sino ad ora, in termini generali, la progettazione navale, intesa in senso “classico” sotto forma di spirale di progetto, e le applicazioni MADM, intese come un approccio “innovativo” alla progettazione stessa.

Volendo dare un contributo allo sviluppo di queste ultime ed avendo già considerato nei precedenti capitoli le logiche alla base del loro utilizzo, è necessario procedere ad un’analisi “strumentale”, intesa come comprensione delle basi analitiche, su cui le tecniche MADM si fondano.

Nel presente capitolo verranno descritte alcune delle tecniche MADM maggiormente conosciute, scelte tra quelle di maggiore interesse per il tema di questo lavoro.

I problemi decisionali Multi Attributo sono stati già definiti come quei problemi di selezione di un progetto ottimale o di una classifica di progetti, e sono il risultato di un processo di valutazione e di confronto di un numero limitato di alternative disponibili di progetto.

Recentemente sono stati messi a punto differenti metodi di MADM. Una classificazione di queste procedure può principalmente essere basata su quali dati di input sono richiesti e su come le preferenze dei designer sono acquisite e rappresentate.

Deve essere comunque notato che alcuni metodi possono richiedere lo stesso tipo di dati di valutazione delle informazioni e di input di preferenza, ma possono differire tra loro in termini di strategie o di regole di elaborazione. In particolare il progettista può fornire tali informazioni attraverso diverse forme e metodologie.

Lo schema riportato nel seguito fornisce una rappresentazione grafica dei concetti sopra espressi.

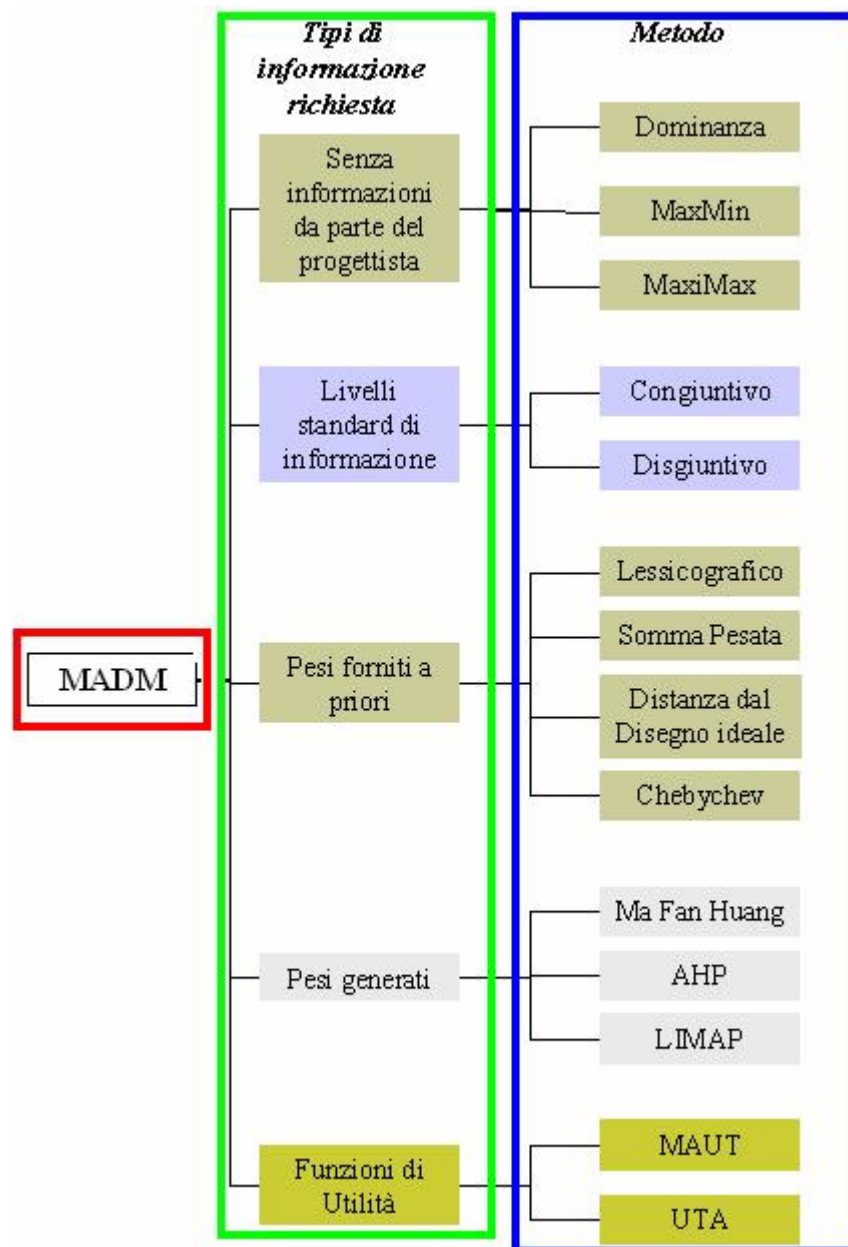


Fig 3.1.1:Flow chart logico caratteristico delle procedure MADM

Un problema MADM, contrassegnato nel flow chart di Fig. 3.1.1. con un rettangolo rosso è definito attraverso una Matrice delle Decisioni in cui il numero finito di alternative che si vogliono considerare sono descritte attraverso il valore degli attributi che le caratterizzano,

La Matrice delle Decisioni, nel prosieguo indicata con S , è composta da m alternative A_i con $i=1....m$ definite per mezzo di n attributi x_j con $j=1....n$. Il valore assunto dall'attributo x_j dell'alternativa A_i è indicato con x_{ij} , di conseguenza l'alternativa A_i è

definita come $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ e la matrice delle decisioni è una matrice $m \times n$ tale che $S = (x_{ij}, i=1 \dots m, j=1 \dots n)$.

Nello schema di matrice delle decisioni di seguito riportato il valori a, b, \dots, p, \dots, u sono i valori assunti dagli attributi considerati nell'ambito delle alternative prescelte. Il generico valore p sarà indicato quindi con $x_{3,2}$.

	x_1	x_2	...	x_n
A_1	a	b	...	e
A_2	f	g	...	l
A_3	o	p	...	s
A_m	t	u	...	z

Matrice delle Decisioni S

L'insieme delle alternative (ovvero la matrice S) è determinato in funzione dall'analisi del problema decisionale. In particolare la definizione di S passa attraverso l'individuazione dei criteri e degli attributi significativi per il progetto, dalla selezione di un insieme di alternative candidate e dalla valutazione dei valori degli attributi per le alternative selezionate. In una schematizzazione di tal tipo non c'è un'alternativa che è chiaramente la migliore poiché ognuna sarà il risultato di compromessi progettuali il cui scopo è avvicinarsi il più possibile ad un intorno dell'obiettivo prefissato.

Le tecniche MADM richiedono che gli attributi scelti come significativi, in genere rappresentativi di grandezze il cui significato fisico è differente, siano commensurabili. La necessità di implementare una metodologia di progetto che coinvolga tutte le grandezze in gioco in maniera omogenea impone la necessità di rendere confrontabili i vari attributi mediante la normalizzazione degli stessi.

Esistono diverse alternative di normalizzazione che al di là della loro formulazione matematica assumono particolare significato in relazione all'obiettivo finale.

A titolo di esempio di seguito si riportano le più comuni tecniche di normalizzazione adottate:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \quad (\text{scala degli attributi spostata verso il valore 1}) \quad (3.1.1)$$

$$p_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \quad (\text{scala degli attributi spostata verso il valore 0}) \quad (3.1.2)$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (\text{scala degli attributi equidistribuita}) \quad (3.1.3)$$

$$p_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (\text{scala degli attributi equidistribuita}) \quad (3.1.4)$$

essendo x_{ij} interpretabile secondo le notazioni precedentemente riportate
 $x_j^{\max} = \max_i x_{ij}$ e $x_j^{\min} = \min_i x_{ij}$ per $i = 1, 2, \dots, n$ per tutti i, j .

Per meglio chiarire quanto sopra detto a proposito del significato delle formule di normalizzazione è interessante notare che le formule sopra citate conducono ad una differente ampiezza del range di normalizzazione (Fig. 4). In Particolare mentre la (3.1.1) e la (3.1.2) conducono ad una scala di valori normalizzati che normalmente non coprono l'intero intervallo (0,1) ma sono spostati verso il valore 1 nel caso della (3.1.1) e verso il valore 0 nel caso della (3.1.2) andando a toccare generalmente solo uno dei due estremi dell'intervallo, nella (3.1.3) e la (3.1.4) la scala dei valori normalizzati risulta essere equidistribuita nell'intero intervallo $x_j^{\max} - x_j^{\min}$.

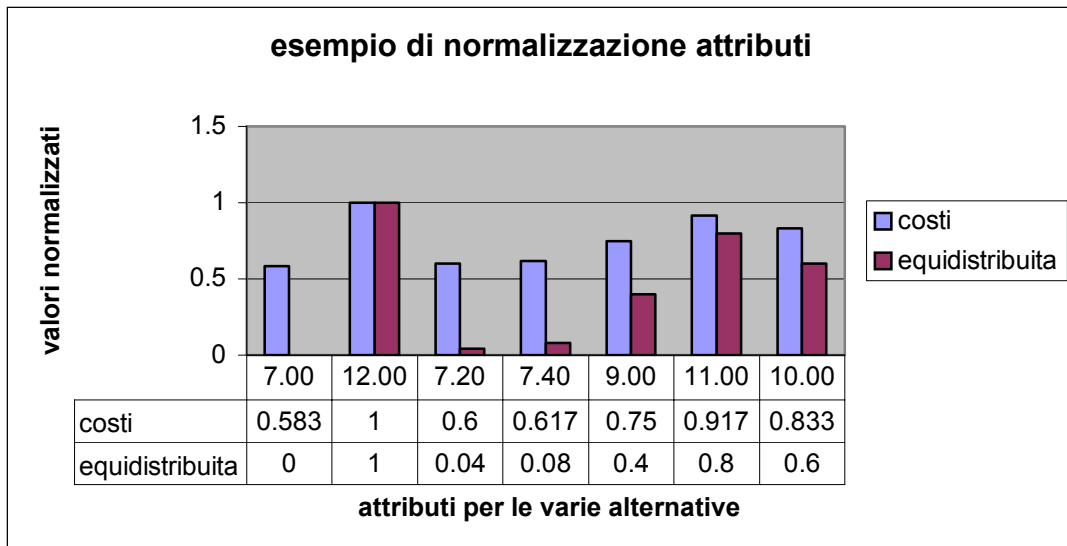


Fig 3.1.2: Esempio di Normalizzazione degli Attributi

Ancora l'utilizzo della (3.1.1) (o equivalentemente la (3.1.2)) fornisce valori degli attributi spostati verso i "benefici" (i "costi") nel senso che se per un dato attributo sono presenti valori di normalizzazione simili per le varie alternative automaticamente il metodo conduce ad ottenere un range di attributi normalizzati più stretto rispetto a quello ottenuto con la (3.1.3) (3.1.4) il che significa dare una minore importanza a quell'attributo. Al contrario le (3.1.3) e (3.1.4) conducono a coprire l'intero intervallo (0,1) indipendentemente dal grado di diversificazione del valore degli attributi, ciò fa sì che il valore degli attributi normalizzati coinvolti nel processo MADM tenga in corretto conto dell'effettiva diversificazione di valore degli attributi stessi consentendo così di considerare tutte le informazioni fornite dagli stessi.

Seguendo la flow chart di Figura 3.1.1, una volta che il problema sia stato formulato come problema MADM un successivo passo, evidenziato con un rettangolo verde, è definire le informazioni richieste dalla formulazione per la risoluzione del problema stesso.

Tali informazioni esprimono l'ordine di preferenza prescelto dal progettista nei confronti dei vari attributi.

La metodologia utilizzata per costruire un ordine di preferenza nei confronti degli attributi può coinvolgere direttamente il progettista, mediante strutture di preferenza da lui elaborate, si parlerà in tal caso di approccio soggettivo, mentre attraverso la risoluzione di metodologie analitiche, si parlerà in tal caso di approccio oggettivo, oppure può utilizzare entrambi gli approcci, si parlerà allora di approccio integrato.

L'applicazione della tecnica prescelta, Figura 3.1.1 rettangolo blu, (Dominanza, Distanza dal progetto ideale, AHP, etc.) condurrà ad una ranking list delle alternative progettuali da cui trarre informazioni circa il progetto ottimale secondo le preferenze espresse ed il metodo utilizzato.

3.2 ALCUNE TECNICHE DI MADM IN USO

Con riferimento alla Figura 3.1.1, è possibile classificare le tecniche MADM maggiormente in uso con riferimento sia al tipo di informazioni richieste per la loro implementazione e sia ad eventuali informazioni aggiuntive che fossero necessarie per una corretta impostazione del metodo.

Prima di procedere ad una breve descrizione di alcune delle metodologie MADM adottate è bene richiamare ancora l'attenzione sul fatto che il riconoscimento dell'ordine di preferenza del progettista è uno dei punti cruciali di tali tecniche.

3.2.1 MADM SENZA INFORMAZIONE DA PARTE DEL PROGETTISTA

Premesso che date due alternative distinte A_i ed A_k si afferma che A_i domina A_k se e solo se $x_{ij} > x_{kj}$ per ogni $j=1,2,\dots,n$, possiamo riconoscere, le seguenti tecniche:

METODO DI DOMINANZA: si eliminano dalla matrice delle decisioni le alternative dominate e si propongono al progettista le rimanenti.

METODO MAXMIN: ciascuna alternativa viene rappresentata dal valore dell'attributo peggiore e si seleziona l'alternativa con il migliore tra i valori peggiori. E' questo il cosiddetto approccio pessimistico. Tale approccio necessita delle commensurabilità degli attributi che devono essere quindi normalizzati prima del reciproco confronto.

METODO MAXIMAX: ciascuna alternativa viene rappresentata dal valore dell'attributo migliore e si seleziona l'alternativa con il migliore tra i valori peggiori. E' questo il cosiddetto approccio ottimistico. Anche in questo caso è necessaria la normalizzazione degli attributi.

3.2.2 MADM CHE UTILIZZANO LIVELLI STANDARD DI INFORMAZIONE

Col termine livelli standard si intende un insieme che definisce i livelli di accettabilità degli attributi. Tale insieme, definito dal progettista, definisce, a seconda del caso, la soglia limite che uno o più attributi deve possedere perché l'alternativa a cui appartiene possa essere considerata come accettabile e rappresentativa della soluzione cercata.

In particolare possiamo distinguere:

METODO CONGIUNTIVO: dove, assunto come livello standard per gli attributi l'insieme x_j^0 per $j \in S \subseteq \{1,2,\dots,n\}$, un'alternativa è considerata accettabile se e solo se $x_{ij} > x_j^0$ per $j \in S$. In tal caso gli attributi non necessitano di normalizzazione.

METODO DISGIUNTO: dove, assunto come livello standard per gli attributi l'insieme x_j^0 per $j \in S \subseteq \{1, 2, \dots, n\}$, un'alternativa è considerata accettabile se e solo per un suo attributo si ha $x_{ij} > x_j^0$.

3.2.3 MADM CHE RICHIEDONO L'ASSEGNAZIONE DI PESI FORNITI A PRIORI

Il senso di questi metodi è chiarito direttamente dal titolo e nell'applicazione variano le modalità di valutazione ed assegnazione dei pesi stessi.

LESSICOGRAFICO

Opera attraverso informazioni di carattere qualitativo e non quantitativo.

Il progettista ordina gli attributi a seconda del livello di importanza che lui stesso assegna sulla base delle alternative date. Si scelgono le alternative che sono più attraenti rispetto all'attributo più importante, se dopo questo primo passo non si giunge ad una scelta unica, si procede ad analizzare il secondo attributo in ordine di importanza del sottoinsieme ricavato e si continua finché non si ottiene una scelta unica. In tale metodo l'espressione delle preferenze espresse dal progettista avviene nel momento in cui il progettista ordina gli attributi secondo un ordine di preferenza che egli stesso fornisce. L'assegnazione dei pesi è in tal senso implicita ma di fatto tangibile nel risultato finale che tende a considerare più attraente l'alternativa che massimizza (o minimizza) l'attributo imposto come più importante.

Il metodo Lessicografico impone l'utilizzo dei valori degli attributi non normalizzati e, considerando le alternative sulla base del solo attributo migliore, implica un uso limitato delle informazioni disponibili.

3.2.4 MADM I CUI PESI SONO GENERATI OGGETTIVAMENTE NELL'AMBITO DEL METODO

Questa categoria di MADM tenta di oggettivizzare il risultato finale svincolandosi, almeno in parte, dal solo giudizio del progettista nella fase di assegnazione dei pesi. A tale genere sono ascrivibili la tecnica denominata AHP, quella LIMAP ed il metodo integrato proposto da Ma, Fan e Huang [13].

LIMAP

Il metodo LIMAP (Linear Programming Techniques Analysis Preference) si basa sull'ipotesi che esiste un'alternativa considerata ideale dal progettista. Il metodo

consiste quindi nell'identificare tale alternativa ed ordinare le alternative esistenti in relazione all'alternativa ideale nello spazio degli attributi.

L'alternativa ideale è caratterizzata attraverso il valore trovato per il vettore dei pesi ideale w^* e il vettore degli attributi ideali x^* che sono gli output del metodo.

La classifica delle alternative esistenti viene stilata sulla base della distanza euclidea pesata dell'alternativa $A_i = (x_{ij})$ dall'alternativa ideale $A^* = (x^*)$:

$$d_i = \left(\sum_{j=1}^n w_j^* (x_{ij} - x_j^*)^2 \right)^{1/2} \quad (3.2.1)$$

ovvero

$$s_i = d_i^2 = \left(\sum_{j=1}^n w_j^* (x_{ij} - x_j^*)^2 \right) \quad (3.2.2)$$

I valori di w^* e x^* devono essere determinati in modo tale che siano il più possibile congruenti con i giudizi forniti dal progettista.

Per ottenere ciò, il progettista specifica la sua preferenza tra coppie di alternative.

Questa informazione è rappresentata da un insieme di coppie ordinate $\Omega = \{(A_k, A_l) : A_k \text{ è preferita ad } A_l\}$. In generale Ω è un sottoinsieme di tutte le possibili coppie di preferenze espresse dal progettista.

Se il progettista indica una coppia di alternative $(A_k, A_l) \in \Omega$ in cui l'alternativa k è preferita ad l , la congruenza viene espressa dalla condizione:

$$sk \leq sl.$$

AHP – Analytic Hierarchy Process

Tale metodo trae origine da quello proposto da Saaty [29], in cui l'importanza relativa degli attributi viene gestita secondo una scala verbale che indicava il rapporto qualitativo tra gli stessi.

All'uso di parole come “equal”, “weak” etc veniva associato un valore numerico variabile da 1 a 9 sulla base del quale si è costruita una matrice di comparazione di importanza relativa degli attributi, tale che:

$$[A] = a_{ij=1 \dots 9}$$

$$a_{ii} = 1 \quad \forall i = 1 \dots 9$$

$$a_{ij} = 1/a_{ji}$$

Il vettore dei pesi viene calcolato come il maggiore degli autovalori della matrice A.

Tale metodo ha trovato la sua naturale evoluzione nell'Analytic Hierarchy Process Method (AHP)

Il metodo AHP è un procedimento di analisi gerarchica che si fonda su tre fasi fondamentali:

1. Strutturazione Gerarchica: il problema oggetto di valutazione viene strutturato in forma gerarchica, ponendo al livello più alto gli obiettivi e, nei livelli via via successivi, i criteri e le alternative;
2. Giudizio comparativo: tutti gli elementi di ciascun livello vengono confrontati a coppie secondo ciascun elemento del livello immediatamente successivo;
3. Sintesi dei giudizi: i giudizi di comparazione vengono sintetizzati al fine di stilare un ordinamento delle alternative.

I valori x_{ij} si possono interpretare come il punteggio di A_i in base al criterio j , $x_j=(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$ fornisce quindi l'importanza delle alternative rispetto al criterio j ; w rappresenta il vettore dei pesi che misurano l'importanza relativa dei criteri rispetto all'obiettivo.

L'idea dell'AHP sta nel derivare (o valutare) l'importanza relativa delle alternative rispetto ai singoli criteri, ossia:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j \tag{3.2.3}$$

La logica della strutturazione in forma gerarchica di un problema valutativo implica che gli elementi – obiettivi, criteri, alternative – siano disposti in senso ascendente secondo il proprio livello di astrazione. Gli elementi posti più in alto nella gerarchia hanno dunque carattere generale, mentre quelli più in basso sono concreti e particolari. La costruzione di una gerarchia del problema, oggetto di decisione, comporta quindi il porre gli obiettivi al livello più elevato, i criteri a livello intermedio e le alternative al livello più basso.

Una volta strutturato il problema, la valutazione avviene in senso ascendente. Gli elementi del livello più basso vengono confrontati tra loro a coppie secondo ciascun elemento del livello immediatamente superiore.

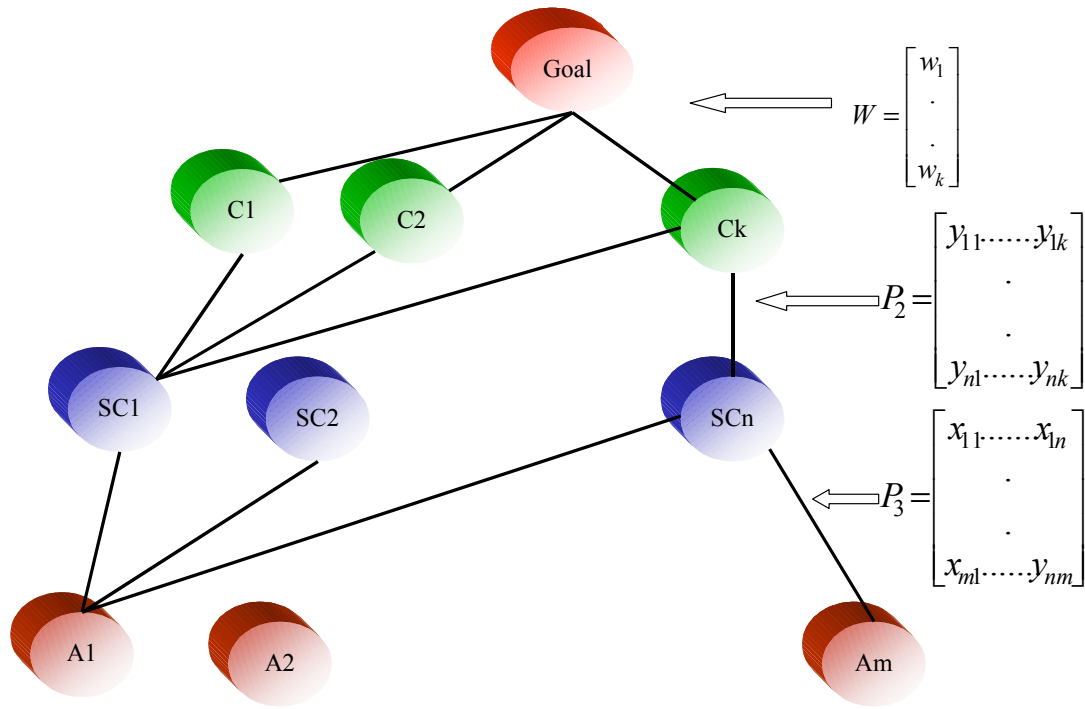


Fig. 3.2.1: Metodo AHP

Formalmente il metodo AHP, impone la costruzione di k livelli gerarchici (Figura 3.2.1), ovvero:

- Elementi al livello k (alternative): x_1, \dots, x_k ;
- Elementi al livello $k-1$ (criteri o subcriteri): y_1, \dots, y_{k-1} ;
- Elementi al livello $k-2$ (criteri, subcriteri o goal): z_1, \dots, z_{k-2} ;

passando attraverso i seguenti punti:

definita $W_k = [w_{yj}(x_i)]$ matrice dei pesi relativi delle alternative rispetto ai criteri y_j al livello superiore, e $W_{k-1} = [w_{zh}(y_j)]$ matrice dei pesi relativi dei criteri a livello $k-1$ rispetto al criterio (obiettivo) z_h al livello superiore, la priorità di x_i rispetto a z_h è data da:

$$w_{z_h}(x_i) = \sum_{j=1}^{k-1} w_{z_h}(y_j) \cdot w_{y_j}(x_i) \quad (3.2.4)$$

ed in forma matriciale:

$$[w_{z_h}(x_i), i=1, \dots, k] = P_{k-1} \cdot [w_{z_i}(y_j), j=1, \dots, k-1] \quad (3.2.5)$$

ovvero:

$$W_z = P_{k-1} \cdot P_{k-2} \dots P_2 \cdot W \quad (3.2.6)$$

dove:

W è il vettore dei pesi dei criteri (al primo livello) rispetto l'unico elemento del livello superiore, l'obiettivo;

P_{k-1} è la matrice (alternative x sub criteri) le cui colonne sono i vettori dei pesi relativi delle alternative rispetto ai sub criteri;

P_2 è la matrice (sub criteri x criteri) le cui colonne sono i vettori dei pesi relativi dei sub criteri rispetto ai sub criteri;

W_z è il vettore dei pesi (importanza) delle alternative rispetto all'obiettivo, la preferenza.

Nel confronto a coppie, che viene svolto per tutti gli elementi risalendo l'intera gerarchia, la preferenza di un elemento rispetto ad un altro non è mai in senso assoluto, bensì sempre relativa con riferimento all'elemento del livello superiore.

METODO MA-FAN-HUANG

Tra i metodi che si propongono di fornire una valutazione dei pesi che le singole alternative hanno nei confronti dell'obiettivo finale, vi è in ultimo da considerare il metodo integrato proposto da Ma, Fan e Huang [13].

Tale tecnica parte dalla metodologia di assegnazione soggettiva proposta da Chu [11] e da quella di assegnazione oggettiva proposta da Fan [14] per giungere alla determinazione di pesi che tengano simultaneamente conto di più fattori.

I pesi determinati mediante l'approccio soggettivo, infatti, riflettono il giudizio soggettivo, il personale intuito e l'esperienza del progettista, ma la ranking list delle alternative ottenute mediante l'applicazione di questo approccio sarà fortemente influenzata dal background culturale del progettista stesso.

Viceversa, l'utilizzo di un approccio oggettivo per la determinazione dei pesi, usando un modello matematico, consente di svincolarsi completamente della soggettività del giudizio, cosa senz'altro positiva per certi versi, ma che nega al risultato finale qualsiasi possibilità di tener conto di gusti e preferenze che sono elementi intrinseci e caratterizzanti di ogni progetto.

Il metodo integrato risulta essere l'unico che consente di tenere in conto in maniera adeguata di entrambi i fattori precedentemente descritti essendo basato sulla

combinazione del metodo soggettivo e di quello oggettivo. Tale metodologia verrà ripresa ed approfondita nel prossimo capitolo 5.

3.2.5 MADM CHE UTILIZZANO FUNZIONI DI UTILITÀ

MULTI ATTRIBUTE UTILITY FUNCTION: MAUT

Il più semplice metodo che considera l'utilizzo delle funzioni di utilità per esprimere la preferenze del progettista è il MAUT. In questo il problema dell'assegnazione della funzione di utilità per un problema multi attributo è stato decomposto nell'assegnazione di una serie di funzioni di utilità mono dimensionali.

Il progettista assegna il livello di utilità, associato ad ogni valore di attributo, attraverso la probabilità di vincita associata ad una lotteria binaria che ha il valore “migliore” e “peggiore” dell'attributo considerato come le due uniche possibili alternative.

Detta $u(x)$ l'utilità associata all'attributo x , si assume che:

$$u(x_{\max}) = 1$$

$$u(x_{\min}) = 0$$

Al progettista viene quindi chiesto qual è il valore per quell'attributo che lui sceglierebbe se potesse evitare l'estrazione tra x_{\min} ed x_{\max} , detto x_i il valore prescelto; è facile constatare che poiché in una lotteria siffatta la probabilità di estrazione di x_{\min} ed x_{\max} è uguale e pari a 0.5 per x_i si ha:

$$u(x_i) = 0.5 * u(x_{\max}) + 0.5 * u(x_{\min}) = 0.5$$

Suddiviso così l'intervallo di valore dell'attributo in due sotto intervalli $[x_{\max}, x_i]$ e $[x_i, x_{\min}]$, si ripercorre quanto sopra descritto per questi e per i successivi sotto intervalli associando ad ogni valore di x un valore di utilità, sino a costruire l'intera funzione di utilità per l'attributo considerato.

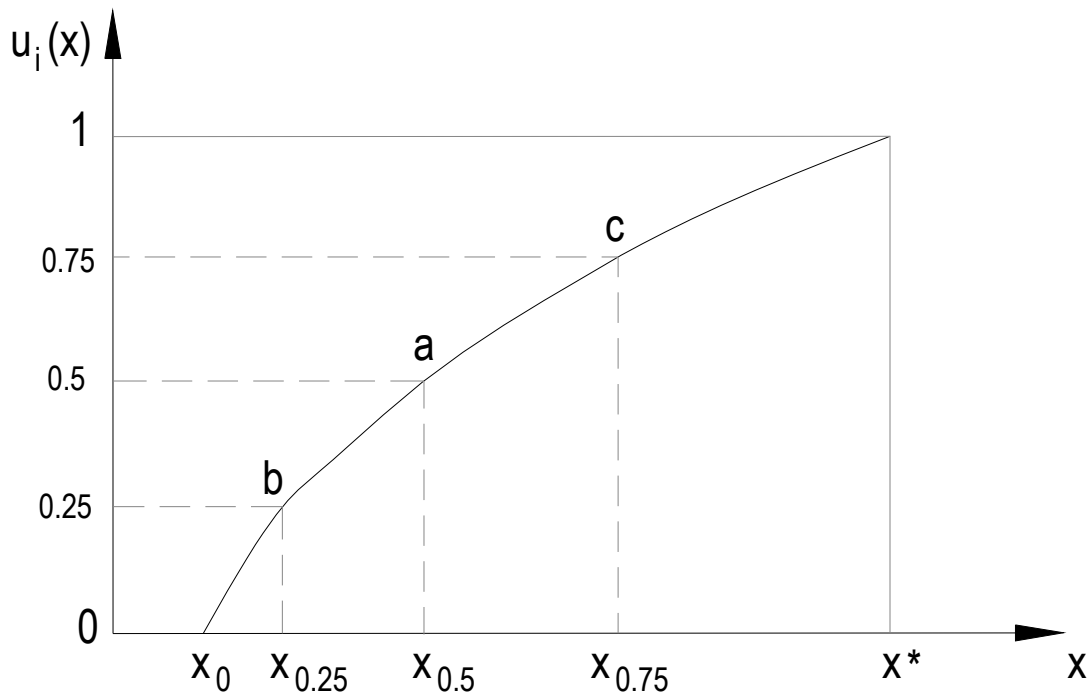


Fig. 3.3.2: Funzione di Utilità

L'intera funzione utilità $U(x)$ può essere derivata come curva che interpola i punti ottenuti (Figura 3.3.2). L'andamento di una funzione che è ottenuta interpolando 5 punti, è tipicamente espressa dalla seguente:

$$u(x)=c+b-ax$$

La curvatura della funzione di utilità consente di attingere informazioni interessanti sulle preferenze del progettista: una funzione concava implica un'avversione al rischio; in questo caso, infatti, il progettista preferisce accettare bassi valori dell'attributo considerato piuttosto che essere esposto al rischio di ottenere quello peggiore. Le funzioni di utilità convesse implicano, d'altra parte, la predisposizione al rischio. Sembra ragionevole asserire che la maggior parte dei progettisti, nella maggior parte delle circostanze, saranno avversi al rischio, preferendo le alternative che offrono i risultati più bassi, rispetto a quelle probabilità considerevoli di avere risultati indesiderabili.

La procedura precedentemente descritta è stata una dei primi tentativi di fornire una metodologia efficace in grado di acquistare e rappresentare le preferenze per mezzo di valutazione di funzioni di utilità. In ogni modo, mentre è piuttosto facile da capire, può diventare irrisolvibile come problema allorquando il numero di attributi considerati che si ottiene, è grande. In questo caso infatti il metodo diretto di valutazione richiede al

progettista troppe domande per derivare correttamente tutte le funzioni di utilità marginale, facendo diventare il calcolo molto noioso. Perciò sono state sviluppate procedure alternative per la valutazione di funzioni pratiche.

IL METODO ADDITIVE UTILITY FUNCTION: UTA

Il metodo UTA fornisce una metodologia che trae informazioni sulle preferenze del progettista sulla base di un sottoinsieme delle alternative progettuali.

In particolare, il progettista seleziona un sottoinsieme di alternative progettuali da quelle fattibili, e le classifica sulla base di tutti gli attributi, costruendo così una matrice delle decisioni.

Definita la funzione di utilità additiva come:

$$U(y) = \sum_{i=1}^k u_i(y_i) \quad (3.2.7)$$

essendo $u_i(y_i)$ la generica funzione di utilità marginale per l'attributo y_i .

Detto $[y_i^-; y_i^*]$ l'intervallo di definizione dell' i -esimo attributo lo si suddivide in $\alpha_i - 1$ intervalli uguali, i cui punti estremi sono dati da:

$$y_i^j = y_i^- + \frac{j-1}{\alpha_i - 1} (y_i^* - y_i^-) \quad j=1, \dots, \alpha_i - 1 \quad (3.2.8)$$

e si assume che $u_i(y_i)$ vari linearmente nel generico intervallo $[y_i^j; y_i^{j+1}]$.

L'utilità marginale della generica alternativa A_i è approssimata mediante un'interpolazione lineare.

Detta $u_i(y_i^j)$ il valore di utilità di y_i^j , se $y_i(A_i)$ appartiene all'intervallo $[y_i^j; y_i^{j+1}]$ allora il valore di utilità per l'alternativa 1 in base all'attributo y_i , $u_i(y_i(A_1))$ può essere stimato attraverso la seguente formula:

$$\hat{u}[y_i(A_1)] = u_i(y_i^j) + \frac{y_i(A_1) - y_i^j}{y_i^{j+1} - y_i^j} [u_i(y_i^{j+1}) - u_i(y_i^j)] \quad (3.2.9)$$

dove i valori $u_i(y_i)$ sono stimati attraverso un sistema di equazioni lineari.

L'utilità dell'alternativa A_1 sarà quindi dato da:

$$u[y(A_1)] = \sum_{i=1}^K u_i[y_i(A_1)] = \sum_{i=1}^K \hat{u}_i[y_i(A_1)] + \sigma(A_1) \quad (3.2.10)$$

in cui $\sigma(A_1)$ rappresenta l'errore che si commette nella stima delle funzioni di utilità.

Ovviamente l'alternativa prescelta sarà quella con utilità maggiore.

Come si è visto, l'interesse sempre crescente nei confronti di questo innovativo approccio progettuale ha condotto il mondo scientifico a proporre diverse soluzioni operative tutte senz'altro volute. A volte però l'eccesso di zelo e di verve culturale rendono talune procedure MADM, se pur molto interessanti a livello accademico, estremamente laboriose e quindi poco applicabili nella quotidiana pratica professionale. La scelta della metodologia diretta alle esigenze di basic design di un progetto navale può divenire un problema soggettivo, ciò non di meno nel prosieguo del presente lavoro si cercherà di valorizzare un approccio, quello di Ma, Fan e Huang [13], che per logica e metodo operativo è apparso essere il più consono a interpretare le esigenze dell'ideale progettista che con curiosità e spirito innovativo si appresta a dare una svolta metodologica alla sua quotidiana attività di progettazione.

3.2.6 CLASSIFICA DELLE ALTERNATIVE

SOMMA PESATA

Un tipo di approccio differente nei confronti della scelta finale è fornito dal Metodo della Somma Pesata. Tale strategia richiede che vengano considerati i valori di ciascun attributo considerato rilevante. Il progettista assegna quindi, secondo la propria preferenza, un peso w_j che indica l'importanza dell'attributo stesso. Il vettore dei pesi deve essere tale che:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (3.2.11)$$

ed il punteggio dell'alternativa i -esima si ottiene attraverso:

$$R_i = \sum_{j=1}^n w_j p_{ij} \quad (3.3.12)$$

Ovviamente viene selezionata tra le alternative quella che ottiene il punteggio più elevato. Tale metodo necessita della normalizzazione degli attributi.

DISTANZA DAL PROGETTO IDEALE

Il metodo della Distanza dal Progetto Ideale è simile al Metodo della Somma Pesata nella logica, ma differente da esso per la metodologia di selezione finale.

In tale metodo l'alternativa considerata migliore è quella per la quale risulta minima la quantità:

$$R_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_j p_{ij})^2} \quad (3.3.13)$$

METODO DI CHEBYCHEV

Ricerca la soluzione ideale minimizzando il massimo della distanza pesata dal progetto utopia attraverso la formula:

$$L_{\infty}^* = \min_j \left\{ 1 - \min_i \left[\frac{p_i}{1 + K(w_i - w_{\min})} \right]_{i=1,K} \right\}_{j=1,N} \quad (3.3.14)$$

dove w_i è il peso soggettivo assegnato all'attributo normalizzato p_i e K il numero degli attributi.

3.3 ESEMPI DI APPLICAZIONE MADM NEL CAMPO NAVALE

Prima di addentrarci nell'approfondimento delle tecniche MADM è utile, al fine di comprendere gli sforzi fatti ad oggi nell'ambiente scientifico internazionale per mettere appunto questo tipo di metodologia progettuale, esaminare una breve casistica di applicazioni navali rivolte a differenti target progettuali.

Nel prosieguo verranno riportati una serie di esempi tratti da lavori scientifici eseguiti. Un Concept Exploratio Model (C.E.M.) è uno schema matematico per la modellazione dell'iter progettuale capace di produrre e di valutare un gran numero di soluzioni nell'intero range delle dimensioni considerate e di trovare il progetto che meglio interpreta i criteri dati.

In “A Concept Exploration Model For Sailing Yacht” [37] si utilizza un C.E.M. al fine di esplorare in modo rapido tutti i possibili range dimensionali per uno yacht a vela.

Le variabili sono legate alle dimensioni dello scafo, appendici, rig e piano velico, considerando come parametri, gli aspetti legati alla configurazione di scafo a chiglia fissa con bulbo e timone posto a poppavia della chiglia, configurazione dell'attrezzatura, armo a sloop senza spi, materiale da costruzione, fibra di vetro in single skin.

I parametri di design adottati per un cruising yacht, sono quelli derivanti dalle specifiche richieste del cliente sia in termini di dimensioni principali che di disposizioni degli interni. Le performance intese come performance sotto vela, stabilità e sicurezza, costi, e volume degli spazi interni, sono state considerate come attributi e cioè output del problema e quindi come elementi soggetti a giudizio e valutazione.

La logica di valutazione e validazione dei risultati ottenuti si basa sulla costruzione di una matrice decisionale S che consideri per ogni yacht i criteri adottati e gli attributi per il singolo criterio. La matrice così ottenuta viene normalizzata mediante la formula:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad \text{per i criteri da massimizzare} \quad (3.3.1)$$

e la formula:

$$p_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad \text{per i criteri da minimizzare} \quad (3.3.2)$$

Ad ogni attributo viene assegnato un peso w_i che tiene conto dell'importanza relativa dell'attributo stesso.

Il punteggio finale, ovvero, l'indice di performance è dato da:

$$R_i = \sum_{j=1}^n w_i p_{ij} \quad (3.3.3)$$

Il progetto ottimale è quello che ottiene il più alto indice R_i .

In “Multi Attribute Concept Design Model of the Adriatic Type of Fishing Vessel” [22], viene presentata l'applicazione della metodologia multi attributo a battelli da pesca tipici del Mar Adriatico di lunghezza compresa tra 10 e 30 metri, con una maggioranza di battelli di lunghezza inferiore a 24 metri.

In tale applicazione la modellazione delle imbarcazioni utilizzata nella metodologia multi attributo è indipendente dalla procedura di progetto poiché l'alternativa progettuale viene rappresentata solo attraverso i parametri (L_{wl} , B_x , C_p , etc.) in fase di input e dagli attributi in fase di output.

La struttura del problema rimane invariata rispetto allo schema classico già descritto e considera variabili, parametri, attributi e vincoli. In particolare la modellazione dei battelli è controllata attraverso sette variabili, rappresentative delle dimensioni principali dello scafo, generate in maniera random con un limite superiore ed uno inferiore attraverso la formula:

$$v = \text{ran}_j v_{\min} + (1 - \text{ran}_j) v_{\max} \quad (3.3.4)$$

dove ran_j è il j -esimo numero random consecutivo il cui valore è compreso nel range $(0, \dots, 1)$.

Come parametri sono state considerati quelle grandezze che generalmente vengono richieste come requisiti progettuali il cui valore è quindi fornito a priori dal progettista.

Per attributi sono state considerate quelle caratteristiche che definiscono l'utilità intrinseca dell'unità stessa, velocità di crociera, capacità di stivaggio del pescato etc.

I vincoli portano in conto i limiti imposti dal metodo utilizzato ed i vincoli di modellazione. In particolare i valori di L_{wl} , B_x , C_p , etc. sono stati fatti variare entro valori compresi tra un massimo ed un minimo.

La fattibilità del progetto è stata valutata in relazione alla possibilità di bilanciamento delle forze verticali agenti. A tale scopo è stata implementata una procedura particolare che considera il volume di stivaggio del pescato come misura rappresentativa del peso

della nave contrapposto al dislocamento. Il progetto è stato considerato fattibile se il volume di stive per il pescato risulta essere maggiore o uguale di un valore minimo richiesto. Se il volume di stiva, e conseguentemente il peso del pescato, è risultato essere maggiore di quanto richiesto, il progetto è stato considerato fattibile salvo successivamente essere scartato come soluzione dominata.

Il progetto finale è stato selezionato sulla base degli attributi all'interno delle soluzioni non dominate. L'importanza relativa del singolo attributo rispetto agli altri è stata determinata sulla base del confronto comparativo degli attributi stessi (Saaty, [29]) ottenendo i pesi attraverso l'autovettore corrispondente al più grande auto valore λ_{\max} della matrice di preferenza. La consistenza è stata valutata secondo il criterio:

$$I_c = \frac{\lambda_{\max} - K}{K - 1} < 0.1 \quad (3.3.5)$$

Ancora, in “Multi Attribute Concept Design Model of Search and Rescue Vessel” [19], sulla base della modellazione di potenza installata, tenuta a mare, peso, stima dei costi, sviluppata considerando 230 “Search and Rescue Vessel (SAR)”, si utilizza il metodo della distanza dal disegno ideale:

$$d_i = \left(\sum_{j=1}^n (p_{ij})^2 \right)^{1/2} \quad (3.3.6)$$

per valutare il valore associato alle alternative considerate. La normalizzazione degli attributi è stata effettuata secondo:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \quad \text{scala degli attributi spostata verso il valore 1} \quad (3.3.7)$$

$$p_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \quad \text{scala degli attributi spostata verso il valore 0} \quad (3.3.8)$$

Gli attributi sul quale è stata basata la procedura sopra citata sono la velocità di servizio, l'incidenza degli stati di malessere dovuti al movimento del mezzo, il tempo di servizio in condizioni meteo marine prevalenti e i costi di acquisto della nave.

In “Multi Attribute Concept Design Model of Patrol, Rescue and Antiterrorist Craft” [24] si utilizza il Metodo Monte Carlo per la generazione random di variabili, quali ad esempio L_p , B_{px} , β_x etc., all'interno di valori prestabiliti generando attributi soggetti ai vincoli che garantiscano la fattibilità del progetto.

I progetti fattibili sono successivamente filtrati e selezionati secondo la logica della Fonte di Pareto per i progetti Non Dominati. In questo caso, fermo restando i criteri di normalizzazione sopra citati, la ranking list finale è stata stilata in accordo a quanto proposto da Chebyshev per cui:

$$L_{\infty}^* = \min_j \left\{ 1 - \min_i \left[\frac{U(y_i)}{1 + K(w_i - w_{\min})} \right]_{i=1,K} \right\}_{j=1,N} \quad (3.3.9)$$

essendo w_i il peso soggettivo assegnato all'attributo normalizzato $U(y_i)$ e K il numero degli attributi.

I pesi sono assegnati secondo quanto proposto da Saaty [29] .

Un approccio multi attributo è stato utilizzato in “Feasibility Study on a Hight Speed Catamaran: Comparison with Aquastrada” [35], al fine investigare tipologie progettuali innovative che consentissero di effettuare trasporto passeggeri e mezzi su rotte mediterranee con elevate capacità di carico ed ad elevate velocità.

Tale investigazione trae spunto dal successo ottenuta del motoscafo stabilizzato Aquastrada.

Da un'indagine effettuata tramite gli operatori del settore, un progetto di tale specie per essere appetibile deve soddisfare una serie di caratteristiche tali da essere concorrenziale con quelli già esistenti in relazione alla distanza tra i porti di approdo, alla velocità di crociera ed al carico pagante di passeggeri e veicoli, dando così enfasi ad aspetti quali efficienza economica, facilità di carico e scarico e qualità del servizio.

L'insieme delle caratteristiche richieste ha portato alla scelta del catamarano veloce come tipologia progettuale da investigare fissando per questo il raggiungimento di target, quali ad esempio un'autonomia superiore alle 250 Nm, una velocità di servizio di 32 Kn a pieno carico, una capacità di trasporto di 1000 passeggeri e 300 veicoli ed una potenza installata di non più di 30000 Kw generati da idrogetti, che sono quindi diventati parte integrante del problema MADM.

Il flusso seguito per la risoluzione del problema è quello tipico della Figura 2.2.1 e già descritto per i precedenti lavori utilizzando il metodo proposto da Saaty [29] per lo sviluppo della matrice di preferenza ed il metodo Monte Carlo per la generazione casuale di variabili entro i prefissati limiti, normalizzando gli attributi e valutando la posizione delle alternative non dominate rispetto all'obiettivo prefissato.

In ultimo è stata effettuata una comparazione economica confrontando l'Aquastrada con la soluzione trovata in relazione ai costi di costruzione e di gestione ed ai costi straordinari di manutenzione.

Un'applicazione dell'AHP (Analytic Hierarchy Process) si ritrova in "Marine Design: The Multiple Criteria Approach" [33] con riguardo alla scelta della tipologia di nave maggiormente conveniente da utilizzarsi nel trasporto costiero nei paesi in via di sviluppo.

Il primo livello della scala gerarchica è quindi la scelta stessa a cui seguono, come criteri, i tre soggetti attori della scelta e cioè la compagnia armatrice, il proprietario e l'ente di classificazione. L'ordine gerarchico prosegue come mostrato in Figura 2.4.1 considerando al livello III cinque attributi e cioè:

- ☛ Qualità del servizio;
- ☛ Parametri di comodità;
- ☛ Parametri di costo;
- ☛ Aspetti fisici;
- ☛ Fattori esterni.

Ognuno dei sopra citati attributi è rivisto, al livello immediatamente inferiore, specificando gli attributi stessi in attributi dettagliati, così ad esempio la qualità del servizio è vista attraverso il tempo totale di viaggio, la frequenza del servizio e la quantità di rotte alternative.

L'ultimo livello della gerarchia è composto dalle tipologie di navi alla base della scelta. Applicando il metodo AHP gli autori giungono a determinare, per le tre tipologie di navi proposte, una ranking list finale delle alternative.

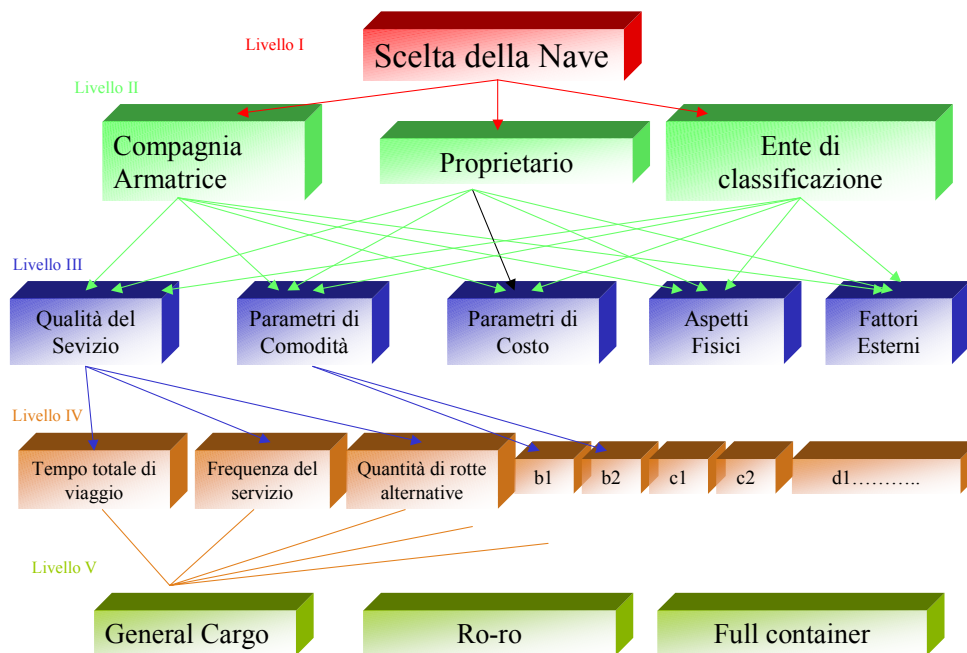


Fig. 3.3.1AHP in “Marine Design: The Multiple Criteria Approach”

Significativo per la metodologia MADM applicata risulta essere “Multiattribute Concept Design Model of a Trimaran Hull Form” [3]. In tale lavoro viene affrontata l’ottimizzazione della posizione longitudinale degli outriggers su un catamarano per trasporto passeggeri. La modellazione del problema è stata affrontata attraverso i moduli di resistenza, seakeeping, carichi locali e globali e stabilità.

L’assegnazione dei pesi è avvenuta attraverso il Metodo Integrato proposto da Ma, Fan e Huang [13] per cui il vettore finale dei pesi viene ottenuto come combinazione di un’aliquota soggettiva, che porta in conto l’importanza relativa che il progettista dà ai singoli attributi sulla base della propria esperienza e del proprio intuito, e di un’aliquota oggettiva che considera le informazioni quantitative fornite dalla matrice decisionale di ottimizzazione del problema.

Per la normalizzazione degli attributi è stata utilizzata, sia per la rappresentazione dei “costi” che per quella dei “benefici”, una formulazione equidistribuita su tutto l’intervallo:

$$\left(x_j^{\max} - x_j^{\min} \right) \quad (3.3.10)$$

La ranking list finale delle alternative progettuali è stata stilata in accordo a quanto previsto dal metodo della distanza Euclidea dal progetto ideale attraverso la formula:

$$R_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_j p_{ij})^2} \quad (3.3.11)$$

4. PECULIARITA' E FATTORI D'INFLUENZA

4.1 I MODULI E LA SCELTA DEGLI ATTRIBUTI

Entriamo nel vivo e consideriamo la progettazione, o meglio il basic design, attraverso un numero limitato di attributi, che possono dare delle risposte utili a domande utili.

E' ovvio a questo punto interrogarsi su quali possano essere le domande utili da porre affinché le risposte ottenute attraverso gli attributi siano funzionale al basic design.

La scelta degli attributi, e quindi dei moduli a cui essi sono intimamente legati, è uno degli aspetti su cui riflettere per giungere ad impostare una tecnica in modo tale che possa essere di effettiva utilità nello sviluppo di un progetto navale.

Prima di addentrarci nell'analisi di quelli che possono essere a ragione considerati i moduli base per l'applicazione delle tecniche MADM al progetto navale, è necessario effettuare alcune precisazioni.

Nel Cap. 2.2 si è provveduto a dare una serie di definizioni base applicabili a tutti modelli MADM, in particolare si è parlato di:

- ☛ variabili
- ☛ parametri
- ☛ attributi
- ☛ limiti.

La prassi operativa che porta dalla scelta di un modulo progettuale all'attributo che lo rappresenta passa attraverso tutti i sopracitati elementi. Ne consegue che per la definizione di un modulo di progetto che fornisca risultati – valori degli attributi – attendibili, i legami funzionali tra variabili, parametri e limiti all'interno del modulo stesso devono essere perfettamente conosciuti e consolidati.

Tale fase operativa, allo stato attuale, non sempre risulta essere agevole vuoi perché non a tutti i fenomeni coinvolti nella progettazione navale è possibile dare una precisa collocazione funzionale attraverso un numero limitato di variabili e parametri, ovviamente al crescere di questi la schematizzazione fisico-matematica del fenomeno descritto assume dei contorni sempre meno precisi, ma vuoi anche perché quella federazione di insiemi complessi, che devono essere affidabili e perfettamente integrati, che è la nave, comporta una interdipendenza tra un fenomeno e l'altro che spesso non è possibile scindere.

Da qui l'esigenza di limitare, per quanto è possibile, il numero di moduli che compongono la prima fase operativa di una procedura MADM scegliendo tra quelli che si ritiene siano i più significativi per il problema in oggetto.

Una volta definiti i moduli progettuali, il passo successivo sarà quello di definire quali tra gli elementi caratterizzanti il progetto debba essere scelto a rappresentare le variabili, quali i parametri, ed ancora entro quali limiti le variabili stesse debbano essere considerate.

Quest'ultimo aspetto, che potrebbe non avere una ricaduta immediata sul risultato fornito dai moduli progettuali, in effetti condiziona la fattibilità dei progetti finali andando ad inficiare completamente l'applicabilità della tecnica MADM prescelta minando la fattibilità dei progetti.

Altro aspetto da considerare nella scelta dei moduli e nella risposta che questi devono dare in termini di attributi è la possibilità di utilizzo di tali procedure alla pratica professionale.

Perché questo aspetto, che condiziona qualsiasi innovazione tecnico scientifica in una moltitudine di campi ingegneristici al pari dell'aspetto economico, non venga trascurato, è necessario che il progettista abbia la possibilità di adattare, al singolo problema progettuale che gli si presenta, l'intero iter secondo le proprie possibilità.

Se ora consideriamo il generico problema di progettazione navale ci accorgiamo che i quesiti cui è necessario dare risposta in una fase di basic design sono generalmente rappresentati da un numero di elementi minore rispetto a quelli descritti da una spirale di progetto, i cui raggi in tale fase non vengono considerati tutti, ma approssimati o saltati del tutto, per poi riprenderli allorquando gli aspetti preliminari siano chiariti.

I moduli di progetto considerati devono essere, quindi, rappresentativi dei raggi che il progettista sceglierebbe se approcciasse al progetto con una metodologia classica, ed essere scelti e calibrati sulla base dello stato dell'arte proprio della progettazione navale e cioè: database, regolamenti emessi da enti di classificazione, pubblicazioni tecnico scientifiche a larga diffusione ed in ultimo, ma non certamente per importanza, analisi statistiche di riferimento.

All'interno dei moduli prescelti occorre poi focalizzare quale aspetto si vuole comparare e, di conseguenza, quale sia l'attributo da intendersi come misura di merito, che il modulo deve restituire.

A titolo di esempio nel prosieguo viene riportata la scelta dei moduli per un target progettuale, identificato in un fast ferry, il cui carico pagante in termini di passeggeri è di 1000 unità, in termini di veicoli è di 300 e la cui velocità di crociera è pari a 40 Kn. Le tipologie di scafo prescelte sono state il monoscafo ed il catamarano.

In “Preference communication in multiattribute procedures for optimised ship design” [5], i moduli progettuali utilizzati sono la Resistenza, criterio prettamente tecnico, i Costi di acquisto, modulo economico, le Preferenze dell’utente e la Transport Efficiency, criterio qualitativo indipendente dalle volontà del progettista.

Il range dimensionale su cui operare è stato stabilito attraverso un’analisi statistica condotta sulla base di dati relativi ad una raccolta di monoscafi e catamarani adibiti al trasporto veloce passeggeri, costruiti tra il 1994 ed il 2003, Tabella 4.1.1.

Catamarano						
	Loa [m]:	Lwl [m]:	Boa [m]:	T (m)	n° Pass.	n° Cars
Min	40.20	37.00	9.30	1.40	150	10
max	122.00	105.60	30.20	7.30	1,200	312
Monoscafo						
	Loa [m]:	Lwl [m]:	Boa [m]:	T (m)	n° Pass.	n° Cars
Min	30.50	27.60	6.50	1.00	152	57
Max	195.00	160.00	30.40	10.30	1,860	850

Tabella 4.1.1.: Range dimensionale dei Catamarani e Monoscafi considerati

I dati preliminari ottenuti sono stati quindi utilizzati come punto di partenza per generare le alternative di progetto.

Assunto un ingombro per singolo passeggero di 0.8 mq e di circa 10 mq per veicolo imbarcato, considerando inoltre un supplemento per gli spazi comuni per singolo passeggero attraverso la relazione:

$$S_{eq} = 0.4 * N_{pass} + 0.8 * N_{pass} + 10 * N_{car} \quad (a)$$

la portata (carico pagante) è stata messa in relazione alla “superficie equivalente di riferimento S_{eq} ”.

Un’analisi di regressione su base esponenziale ha consentito di stabilire il legame tra S_{eq} e Loa ed ancora tra S_{eq} e Lwl.

In particolare:

$$Loa = 3.8473 * S_{eq}^{0.4231}$$

$$Lwl = 2.5523 * S_{eq}^{0.456}$$

valide per monoscafi;

$$Loa = 5.1387 * S_{eq}^{0.3635}$$

$$Lwl = 4.6642 * S_{eq}^{0.359}$$

valide per catamarani.

Le alternative di progetto sono state generate all'interno di limiti scelti sulla base delle seguenti serie sistematiche già ben conosciute ed elaborate in Begovic [6] e in Grubisic e Begovic [21]: Nördstrom, De Groot, Beys S-63, Yeh S-64, Henschke, Lindgren and Williams SSPA, Bailey NPL, Insel/NPL, Compton USNA, Kracht VSW D-series, single Model 5, Gamulin SKLAD and Lahtiharju VTT NOVA.

Il database così generato contiene 186 modelli e copre un vasto range di dimensioni principali, Tabella 4.1.2:

	MIN	MAX
(M)	4.435	12.399
L_{WL} / B_X	2.500	18.200
B_X / T_X	1.922	11.385
C_P	0.545	0.774
C_X	0.556	0.982
A_T / A_X	0.000	0.891
C_S	2.099	4.007
X_{CB}	0.412	0.531

Tabella 4.1.2: Limiti minimi e massimi per i parametri dimensionali

In “Hydromechanical Module in the Multicriterial Design Model of Fast Vessels” [6] per i 186 modelli del data base sono stati elaborati i coefficienti di resistenza residua determinati attraverso prove in vasca e sono quindi interpolati per numeri di Froude costanti al fine di ottenere la seguente regressione:

$$\begin{aligned}
1000 \cdot C_R = & a_1 \cdot (L/\nabla^{1/3}) + a_2 \cdot (L/\nabla^{1/3})^{a_0} \\
& + a_3 \cdot (B/T) + a_4 \cdot (B/T)^{-1} \\
& + a_5 \cdot (C_P) + a_6 \cdot (C_P)^{-1} \\
& + a_7 \cdot (C_X) + a_8 \cdot (C_X)^{-1} \\
& + a_9 \cdot (A_T/A_X) + a_{10} \cdot (C_S) + a_{11} \cdot (X_{CB})
\end{aligned} \tag{4.1.1}$$

I coefficienti a_i sono stati determinati per numeri di Froude costanti nell'intervallo da 0.30 a 1.20, con incremento di 0.025. Tale procedura è descritta in dettaglio in "Resistance prediction of the fast round bilge hulls at the concept design vessel." [21].

C'è da notare che tale analisi di regressione non è valida per i modelli molto snelli (S64, NPL-Insel) che hanno $L/B > 10$. Da ciò, solo per 27 modelli del data base il cui valore di L/B è maggiore di 8 è stata sviluppata una nuova regressione sulla base di prove in vasca.

In accordo con Fung [17], per i 27 modelli sono stati considerati 6 parametri di regressione.

Di seguito si riporta la regressione ottenuta:

$$\begin{aligned}
1000 \cdot C_R = & a_1 \cdot (L/\nabla^{1/3})^{a_0} + a_2 \cdot (B/T) \\
& + a_3 \cdot (C_X) + a_4 \cdot (C_S)
\end{aligned}$$

La Tabella 4.1.3 riporta i coefficienti di regressione per F_N da 0.3 a 1.2:

F_N	a_0	$10^3 \cdot (L/\nabla^{1/3})^{a_0}$	B_X / T_X	C_X	C_S
0.3	-2.5157	0.5126	-0.0608	-0.1091	0.0255
0.325	-2.7822	0.8749	-0.0678	0.2645	0.0028
0.35	-3.1140	1.7795	0.2140	0.8557	-0.4003
0.375	-3.4840	4.2596	0.2296	1.0535	-0.4534
0.4	-3.7198	7.8152	0.1617	1.0151	-0.4073
0.425	-3.8956	11.9377	0.1071	0.7360	-0.2919
0.45	-4.0126	15.7574	0.0754	0.4476	-0.2001
0.475	-4.0845	18.6445	0.0517	0.1828	-0.1253

Tabella 4.1.3: Coefficienti di regressione

F_N	a_0	$10^3 \cdot (L/V_{1/3})^{a_0}$	B_X / T_X	C_X	CS
0.5	-4.1094	19.5301	0.0350	0.0146	-0.0762
0.525	-4.0876	18.1014	0.0216	-0.0324	-0.0525
0.55	-4.0377	15.5635	0.0105	-0.0063	-0.0450
0.575	-3.9708	12.8589	-0.0019	0.0160	-0.0356
0.6	-3.8872	10.2518	-0.0142	0.0076	-0.0199
0.65	-3.6983	6.2299	-0.0328	-0.0697	0.0177
0.7	-3.5447	4.0917	-0.0462	-0.1346	0.0441
0.75	-3.4372	2.9902	-0.0523	-0.2054	0.0654
0.80	-3.341	2.246	-0.044	-0.259	0.071
0.85	-3.243	1.6963	-0.0358	-0.3295	0.0793
0.90	-3.121	1.2312	-0.0375	-0.3735	0.0914
0.95	-2.979	0.8669	-0.0446	-0.3696	0.0954
1.00	-2.849	0.6449	-0.0638	-0.3957	0.1170
1.10	-2.673	0.4317	0.0220	-0.4299	0.0343
1.20	-2.455	0.2840	0.0307	-0.4836	0.0145

Tabella 4.1.3: Coefficienti di regressione

Tale regressione è stata quindi utilizzata per monoscafi e catamarani molto snelli, nel secondo caso non è stata presa in considerazione l'interferenza tra gli scafi.

Il modulo relativo ai costi di acquisto è stato sviluppato seguendo l'approccio proposto da Karayannis, Molland e Williams [25]. Il limite di applicabilità di tale approccio ha portato a ridurre a 66 il numero delle alternative fattibili (39 monoscafi e 27 catamarani).

Il costo totale d'acquisto, espresso in milioni di dollari USA, è stato calcolato come somma dei costi di costruzione scafo, costi di allestimento esterni e costi di propulsione considerando sia il costo materie che il costo lavoro:

$$C = C_H + C_o + C_{ma}$$

La Transport Efficiency, riportata in "Multi-criteria ship selection procedure" [23], è stata valuta secondo la seguente formula

$$T_{efficiency} = \frac{\Delta \cdot g \cdot v}{P_b}$$

Le preferenze dei clienti, rispetto alle tipologie di scafi investigate, sono state studiate in Coccoli e Scamardella [12], attraverso 1373 interviste effettuate ad utenti di fast ferry nel golfo di Napoli. Tra hydrofoil, catamarani e monoscafi, i primi hanno ottenuto una preferenza del 53.7%, i catamarani del 22.3% ed in ultimo i monoscafi 7.39%. Di queste interviste, ne sono state considerate 586 e le risposte sono state rianalizzate. In tal modo le percentuali di preferenza ottenute risultano essere leggermente differenti (hydrofoil 58.02%, catamarani 23.21%, monoscafi 7.51%).

Le preferenze dei clienti sono state quindi implementate nell'analisi MADM assumendo che il valore relativo degli attributi fosse uguale alla percentuale di utenti che predilige i catamarani o i monoscafi (0.223 o 0.074).

Imponendo l' S_{eq} ottenuta attraverso l'analisi statistica (a), si sono valutate le dimensioni base per un monoscafo tipo ed un catamarano tipo:

per il monoscafo:

Loa=128.0 m Lwl=111.0 m Fr=0.575;

per il catamarano

Loa=104.0 m Lwl=91.0 m Fr=0.638.

Design n.	Rt (kN)	Cost (Million USD)	Transport/efficiency	Customer preferences
1	2098.12	55.08	15.65	0.07
2	3248.45	64.60	13.88	0.07
3	2071.01	53.53	15.70	0.07
-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----
40	1611.21	54.78	9.96	0.22
41	1153.95	47.67	10.10	0.22
42	730.44	39.55	9.99	0.22

Tabella 4.1.4: Esempio degli attributi considerati per la valutazione del progetto ottimale

Sulla base di tali dimensioni e attraverso i moduli sopra descritti per 66 progetti fattibili (39 monoscafi e 27 catamarani) si è ottenuto il valore degli attributi utilizzati per effettuare una valutazione del progetto ottimale, un esempio di questi è riportato in Tabella 4.1.4:

Un ulteriore esempio di scelta di attributi in un problema MADM finalizzato al basic design lo si ritrova in “Multiattribute Decision Techniques in Ship Design”[4], in cui è stato investigato l’effetto della posizione longitudinale degli scafi laterali (stagger) di un trimarano non solo sulla resistenza idrodinamica, ma anche sulla stabilità in condizioni integre e sotto falla, sui carichi locali e globali, e sulla tenuta al mare.

Le geometrie di carena prescelte erano di scafi a carena tonda il cui scafo principale è stato tratto dalla serie 64 con differenti valori dei rapporti dimensionali L/B e gli scafi laterali erano stati derivati comunque dalla serie 64, ma variati in affinità al fine di incrementare il rapporto L/B .

Le geometrie di carena del trimarano sono rappresentate in Figura 4.1.1:

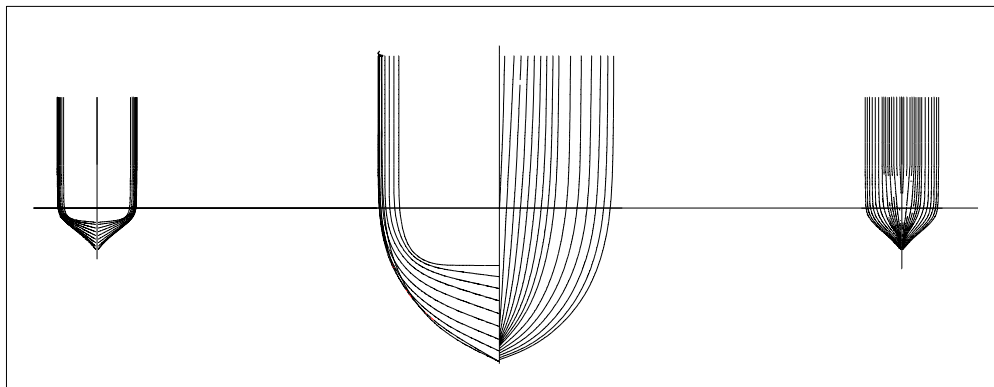


Fig. 4.1.1: Geometria di carena del trimarano considerato

mentre le caratteristiche principali sono riportate in Tabella 4.1.5:

	MAIN HULL	SIDE HULL	TRIMARAN
LOA (m)	47.700	23.850	47.700
LWL (m)	46.940	23.470	46.940
BWL (m)	3.336	1.092	11.700
T (m)	1.670	0.460	1.670
WS (m2)	194.8	25.2	245.2
Displ. (t)	120.489	4.259	129.007
CB	0.45	0.35	
L/B	14.070	21.500	
B/T	2.000	2.356	
Fn	0.839	1.187	

Tabella 4.1.5: Caratteristiche dimensionali del trimarano considerato

La posizione degli stagger è stata definita secondo la seguente formula:

$$\text{Stagger} = 20 y / \text{LWL} (4.1)$$

Il significato dei simboli in formula è quello mostrato in Figura 4.1.2:

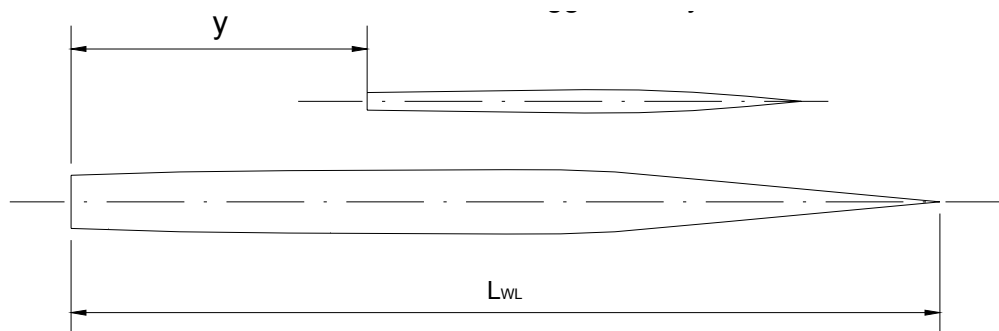


Fig. 4.1.2: Simbologia per gli stagger

Il range esaminato è quello compreso nell'intervallo di y pari a $[0; 10]$.

Lo schema adottato per l'applicazione della procedura MADM è descritto dalla Figura 4.1.3:

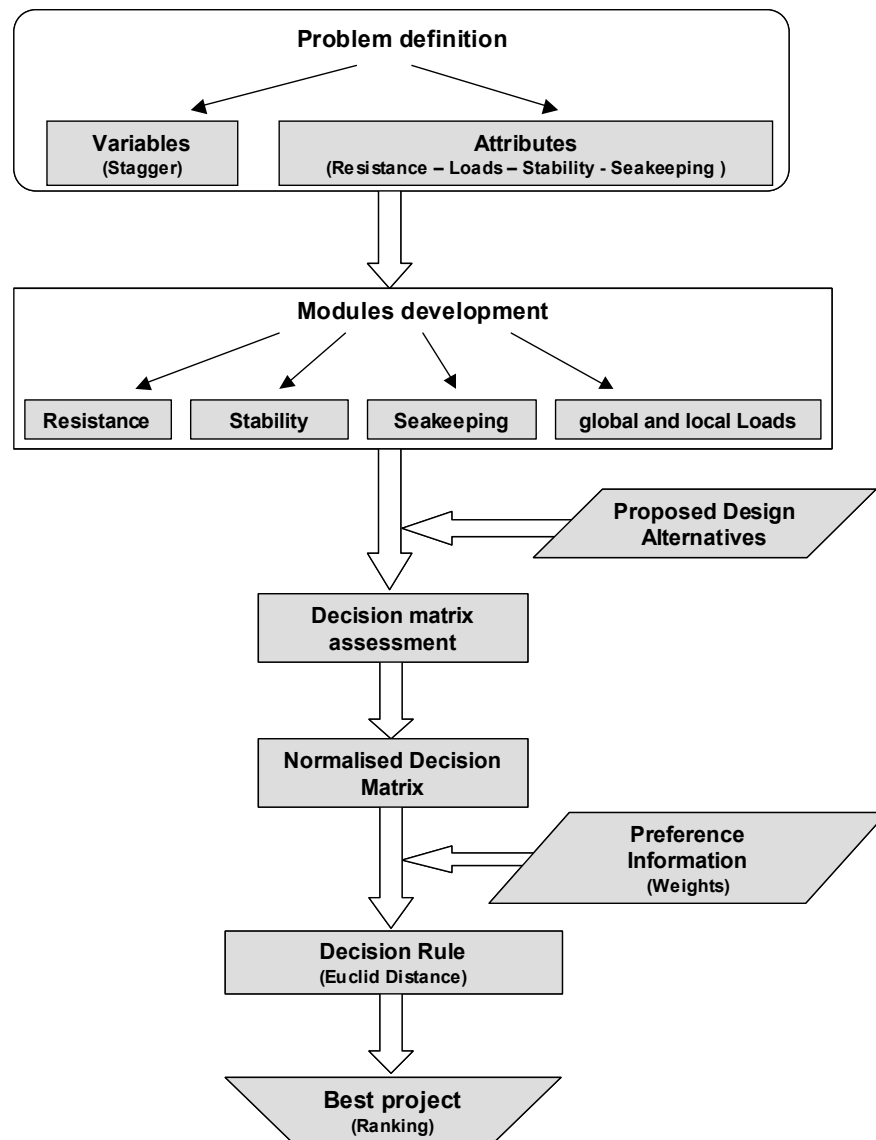


Fig. 4.1.3: Schema di applicazione della procedura MADM

I quattro moduli utilizzati sono:

- ☞ Resistenza idrodinamica
- ☞ Tenuta al mare
- ☞ Carichi locali e globali
- ☞ Condizioni di stabilità con nave integra

da questi 8 differenti attributi sono stati considerati rilevanti ai fini dell'ottimizzazione della posizione degli stagger. In particolare sono stati considerati:

- ☛ la resistenza idrodinamica
- ☛ l'area A1 sottesa dalla curva dei bracci di raddrizzamento
- ☛ l'operabilità valutata al centro dell'area destinata ai passeggeri
- ☛ il massimo taglio longitudinale
- ☛ il massimo momento flettente longitudinale
- ☛ il momento torcente trasversale
- ☛ le pressioni di impatto sul fondo valutate al 75 % della Lwl dalla perpendicolare addietro
- ☛ le pressioni di impatto sul ponte valutate al 75 % della Lwl dalla perpendicolare addietro

L'applicazione di questi moduli ha fornito un certo numero di proposte progettuali a cui è stato poi applicato il processo decisionale MADM.

4.2 LA NORMALIZZAZIONE

Un passo per volta, dobbiamo adesso adoperarci per utilizzare a pieno le informazioni derivanti da moduli da noi prescelti.

In ambito professionale, più ampio è il margine lasciato al progettista nella scelta degli aspetti su cui vuole basare la sua applicazione MADM, maggiore risulterà l'intrinseca utilità del metodo a fornire risposte adeguate in termini progettuali. Tale osservazione nasce dalla considerazione che, come già detto in precedenza, nell'applicazione di una procedura MADM, un modulo non necessariamente rappresenta un fenomeno fisico schematizzabile attraverso un algoritmo matematico (resistenza, seakeeping etc.), ma può esprimere un qualsiasi aspetto che sia di particolare rilevanza per il problema progettuale che si vuole investigare (costi, preferenze dell'armatore etc.). Assunta come necessaria tale precisazione porta con sé il problema di poter confrontare tra loro valori numerici spesso di diverso ordine di grandezza, non necessariamente collegati e spesso in conflitto. Tale considerazione pone l'imperativo che gli attributi scelti come significativi, in genere rappresentativi di grandezze il cui significato fisico è differente, siano commensurabili.

In questa logica e per omogeneità dimensionale delle grandezze in gioco è necessario introdurre il concetto di normalizzazione degli attributi.

Come già detto nel paragrafo 3.1 la normalizzazione altro non è che un escamotage che permette di confrontare tra loro, in un processo decisionale MADM, qualsivoglia attributo con i rimanenti, anche di tipologia e grandezza differente, fidando non sul valore reale dell'attributo stesso, ma sul valore relativo che l'attributo stesso ha in funzione del massimo range di valori che esso assume nel problema in oggetto.

Tale concetto si traduce, di fatto, nella ricerca di una trasformazione analitica che renda gli attributi confrontabili.

Esistono diverse alternative di normalizzazione che al di là della loro formulazione matematica assumono particolare significato in relazione all'obiettivo finale.

Ovviamente come tutti gli escamotage che fidano su algoritmi di trasformazione per raggiungere uno scopo, anche il risultato finale di una procedura MADM è in funzione della tecnica di normalizzazione adottata, esempio di tale influenza è riportato in "Multiattribute Decision Techniques in Ship Design" [4].

In particolare la Figura 4.2.2 mostra come l'utilizzo di una formula di normalizzazione piuttosto che di un'altra, influenzi il risultato finale in termini di miglior alternativa nella scelta della configurazione di stagger per il catamarano oggetto di studio.

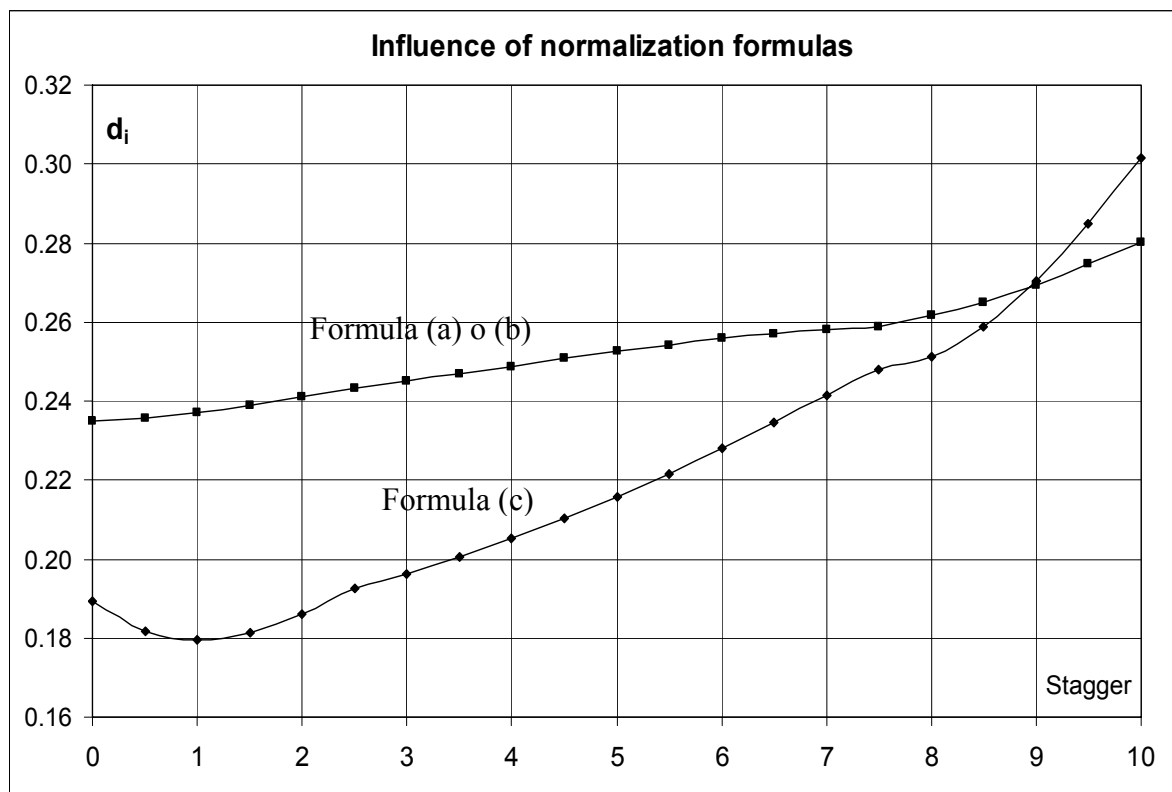


Fig. 4.2.2: Influenza delle formule di normalizzazione

In particolare dalla Figura 4.2.2 si può notare che nel problema oggetto di studio l'utilizzo della formula di normalizzazione (a) o (b):

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \quad (a) \quad p_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \quad (b) \quad p_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (c)$$

conduca alla scelta di una posizione di stagger relativa alla soluzione indicata come 0; mentre utilizzando la (c) la migliore alternativa risulti essere la 1, ciò non di meno l'andamento generale delle due curve risulta esser simile indicando come, all'aumentare dello stagger, le condizioni analizzate si distanzino sempre di più dal progetto ideale.

4.3 LA RANKING LIST

L'ultimo atto di una proposta metodologica di supporto alla progettazione è il risultato finale. Qualsiasi sia l'innovazione, la modifica ad un iter consolidato qual è certamente quello della progettazione tradizionale a spirale, deve comunque condurre ad un risultato tangibile per essere proposto al mondo professionale come valida alternativa.

Nei precedenti capitoli si è descritto come impostare una tecnica MADM, quale logica utilizzare nella scelta degli attributi, come utilizzare gli stessi per ottenere il numero massimo di informazioni possibili sul progetto.

Tramite i moduli si sono generati un certo numero di progetti, ma quale di questi è ottimale? Quale rappresenta la soluzione progettuale che più si avvicina a quella ideale? La risposta a queste domande è fornita nel modo più logico e tradizionale possibile, attraverso cioè una classifica finale delle alternative, una ranking list.

Nel capitolo 2.2 si è parlato di quella che è la logica di scelta, legata al fronte di Pareto, associata alle procedure decisionali MADM.

Tale logica è legata alla distanza che i progetti hanno dal progetto ideale o utopia.

In particolare, un volta che il progettista, seguendo i passi richiesti da queste tecniche, abbia generato dei progetti la cui fattibilità è assicurata attraverso l'impostazione di limiti che ne garantiscano tale caratteristica, nasce il problema della valutazione di quale sia la soluzione ottimale al problema oggetto di studio.

In altre parole è necessario, una volta che siano stati selezionati i criteri adatti e sia stato sviluppato con successo un metodo che mira a bloccare le preferenze, da trattare è l'istituzione di regole che aiutano il progettista a predisporre una classifica di tutte le alternative di progetto eventualmente lasciandolo selezionare quelle a lui preferite.

La risoluzione di questo problema è in genere condotta attraverso tre metodologie base:

- ☛ Metodo della Somma pesata;
- ☛ Metodo della distanza Euclidea;
- ☛ Metodo della distanza secondo Chebychev.

Ognuna delle sopracitate metodologie conduce ad una classifica finale che tiene in dovuto conto sia gli attributi selezionati come significativi, sia le eventuali preferenze associate agli stessi.

In particolare nel Metodo della Somma pesata, assunto che la sommatoria del vettore di eventuali pesi associati agli attributi deve dare come risultato 1:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

la posizione R_i associata alla i -esima alternativa all'interno della classifica finale è data da:

$$R_i = \sum_{j=1}^n w_j p_{ij}$$

dove:

i = indice d'alternativa

w = il peso associato al j -esimo attributo

p = valore dell'attributo normalizzato.

Ovviamente la soluzione ottimale è quella che risulterà avere il maggior valore numerico di R ; per tal motivo una corretta normalizzazione degli attributi risulta essere necessaria al fine di garantire che tutti gli attributi vengano portati in conto in maniera corretta.

Il metodo della distanza Euclidea dal progetto ideale considera la quantità:

$$R_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_j p_{ij})^2}$$

In questo caso R risulta essere la distanza dell' i -esima alternativa dal progetto ideale, la simbologia è la stessa del caso precedente e la soluzione ottimale è quella che otterrà il minor valore numerico di R ; anche in questo caso è necessario normalizzare gli attributi.

In ultimo, il metodo di Chebychev è basato sulla differenza tra coordinate; ogni alternativa è rappresentata attraverso la massima differenza tra il valore del suo singolo attributo ed il valore del corrispondente attributo del progetto ideale.

Così facendo il metodo di Chebychev conduce ad una classifica finale basata soltanto su uno dei suoi attributi, ne segue che non considera tutte le informazioni rese disponibili dagli attributi per il raggiungimento dell'obiettivo finale.

L'attributo, che il metodo seleziona come rappresentativo, può essere scelto o perché massimizza un beneficio o perché minimizza un costo.

Un esempio applicativo di queste tre metodologie in ambito scientifico è dato in "Multiattribute Decision Techniques in Ship Design" [4], in cui il metodo di Chebychev è stato applicato in maniera differente per i costi e per i benefici; in particolare, la

distanza dal progetto ideale, caratterizzata in questo caso dall'avere il valore zero per tutti gli attributi, è stata valutata attraverso le seguenti formule:

$$L_{\infty}^* = \min_j \left\{ \max_i \left[\frac{p_i}{1 + K(w_{\max} - w_i)} \right]_{i=1,K} \right\}_{j=1,N} \quad \text{valida per i costi}$$

$$L_{\infty}^* = \min_j \left\{ \max_i \left[\frac{p_i}{1 + K(w_i - w_{\min})} \right]_{i=1,K} \right\}_{j=1,N} \quad \text{valida per i benefici}$$

La simbologia delle sopracitate formule è la seguente:

L_{∞} = distanza secondo Chebychev;

i = indice del singolo attributo;

j = indice per la singola alternativa;

w_i = peso assegnato all' i -esimo attributo normalizzato;

K = numero complessivo degli attributi.

I risultati ottenuti sono riportati nel grafico di Figura 4.3.1

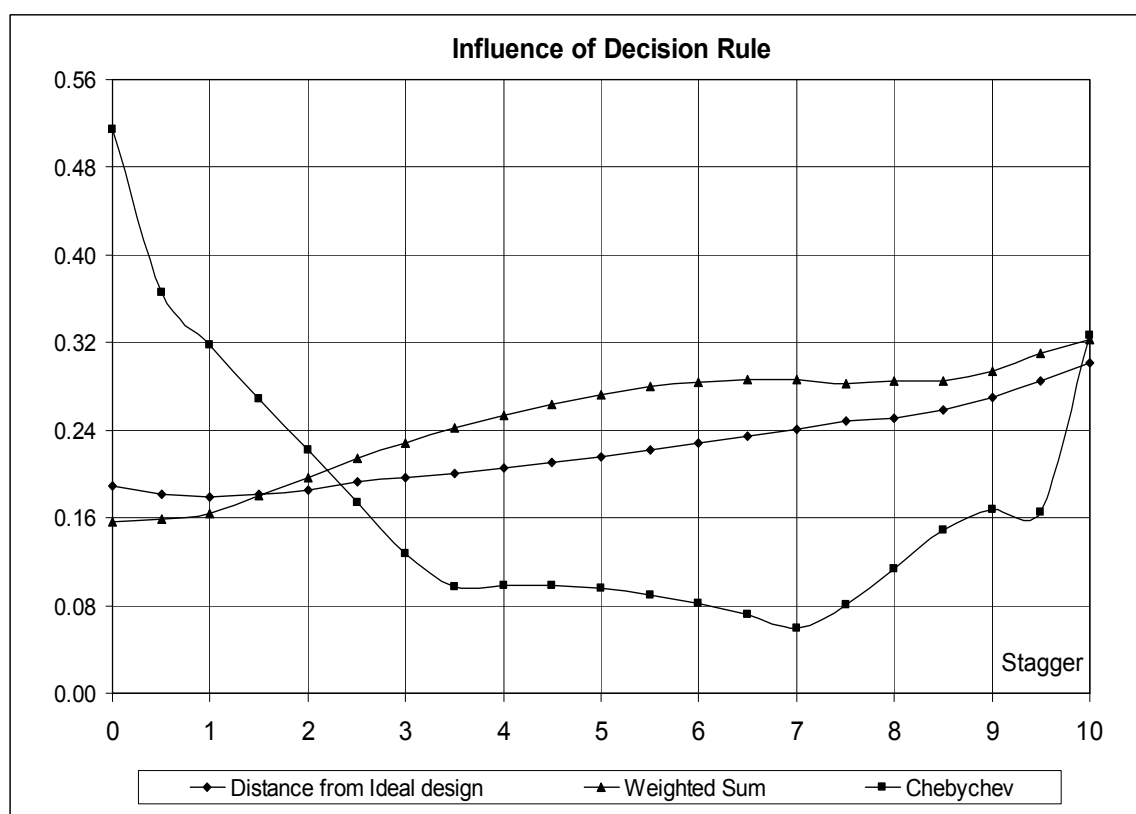


Fig. 4.3.1: Influenza delle regole decisionali

E' possibile notare che il metodo della somma pesata e quello della distanza Euclidea conducono a risultati simili per ciò che riguarda la classifica finale delle alternative,

indicando rispettivamente la soluzione 1 e la soluzione 0 come soluzioni ottimali in termini di stagger e indicando come soluzioni peggiori quelle che riportano gli scafi laterali più a prua.

Completamente differente è il risultato ottenuto attraverso la distanza calcolata secondo Chebychev.

In tal caso la migliore soluzione in termini di stagger è la numero 7, mentre le soluzioni posizionate con gli scafi laterali maggiormente poppieri vengono fortemente penalizzate.

Questo risultato può essere spiegato considerando che, mentre il metodo della somma pesata e quello della distanza Euclidea dal progetto ideale considerano nel processo di classifica tutte le informazioni fornite dagli attributi, il metodo della distanza secondo Chebychev non utilizza tutte le informazioni a disposizione identificando l'alternativa ideale solo attraverso uno degli attributi disponibili.

Tale approccio può comunque essere utilizzato con profitto, per esempio, nei casi in cui la distanza tra ogni alternativa ed il progetto ideale è rappresentata in modo significativo, nello spazio a K dimensioni degli attributi, dalla massima distanza mono dimensionale tra le coordinate.

5. GESTIONE DELLE PREFERENZE SOTTO UN PROFILO OPERATIVO

5. GESTIONE DELLE PREFERENZE SOTTO UN PROFILO OPERATIVO

Si sono sino ad ora descritte le metodologie MADM inquadrando in un contesto che potesse risultare utile alla loro applicazione in campo navale, avvalorando tale scelta sulla base del fatto che per loro la peculiarità queste consentono di raffrontare tra loro più requisiti progettuali all'interno dello stesso progetto e di più progetti sulla base degli stessi requisiti progettuali spesso in conflitto tra loro, e sono quindi uno strumento ideale di sviluppo ed ottimizzazione per tutti quegli aspetti che la sola sensibilità del progettista non è sufficiente a risolvere.

Ai fini del prosieguo del presente lavoro si è quindi dovuto operare una scelta riguardo a quale tra le procedure attualmente in uso potesse essere più efficace allo scopo preposto. Il panorama delle tecniche MADM proposte ha fornito la risposta a questa problematica attraverso la metodologia di Ma Fan Huang di cui si è già accennato nel capitolo 3. Tale tecnica utilizza un metodo integrato per la determinazione dei pesi basato sulla combinazione di un approccio soggettivo in cui i pesi ottenuti riflettono il giudizio, il personale intuito e l'esperienza del progettista e di uno oggettivo in cui i pesi determinati mediante, un modello matematico, consentono di svincolarsi completamente della soggettività del giudizio.

Nel prosieguo del presente capitolo la procedura di Ma Fan Huang verrà proposta attraverso le basi analitiche teoriche che la caratterizzano. In particolare i tre differenti step legati all'approccio oggettivo, quello soggettivo e quello integrato verranno analizzati separatamente al fine di darne completa ed esaustiva descrizione nei paragrafi 5.1, 5.2 e 5.3

5.1 IL METODO SOGGETTIVO

Si è approcciato alla progettazione MADM, considerando in sequenza gli step che conducono ad una ranking list di progetti fattibili tra cui scegliere quello ottimale. L'uso del termine "ottimale", e non della dizione "ottimo", è certamente voluto e significativo perché caratterizzante una procedura che è influenzata da molteplici fattori di cui si è dato indizio in quanto fin qui detto.

Tra questi la volontà di chi opera nell'indirizzare le scelte fatte, come in gran parte dei problemi della tecnica, ha un ruolo non certamente secondario, e non di secondaria importanza hanno gli strumenti prescelti a rappresentare la volontà del progettista.

In ambito MADM, questi strumenti sono rappresentati dalle strutture di preferenza ed in particolare da pesi.

Nel capitolo 3 si sono illustrate organicamente varie metodologie di approccio MADM. Ma quale fra queste si è reputato essere più convincente usare per il problema di progetto del presente lavoro? Senza nulla togliere alla validità delle varie metodologie, è importante, ad avviso di chi scrive, avere il pieno controllo degli aspetti che influenzano il valore dei pesi. Avere la possibilità di variare in maniera semplice ed automatica i pesi forniti agendo su impostazioni conosciute, fornisce la possibilità al progettista di scandagliare ed analizzare più risultati sulla base di differenti ipotesi. Si è scelto quindi di utilizzare il metodo di Ma-Fan-Huang proprio perché questo, per il modo in cui è strutturato, e di cui si dirà nell'immediato proseguo, non è per il progettista una black box in cui, una volta inseriti i dati di input, è difficile avere una diretta sensibilità sui risultati; ma, per com'è strutturato, consente una visione diretta sui parametri di influenza dei pesi suddivisibili gli stessi in due componenti principali, componente soggettiva e componente oggettiva ognuna con un valore d'influenza voluto sul risultato finale.

Nel capitolo 3 si è accennato al metodo di Ma-Fan-Huang definendolo un metodo integrato che consente l'assegnazione dei pesi che le singole alternative hanno nei confronti dell'obiettivo finale.

Perché i pesi, che non sono altro che strutture di preferenza per il problema in oggetto, abbiano un'effettiva utilità pratica, è necessario che siano l'espressione di fattori quali il gusto, l'esperienza e la volontà del progettista o di chi è coinvolto nel processo decisionale (società armatrice, ente di classifica etc.) ed ancora dell'effettiva influenza che gli attributi stessi forniscono attraverso il loro valore intrinseco.

Volendo addentrarci in tale metodologia di calcolo è necessario affrontare e descrivere per prima cosa quella parte di essa che mira a considerare tutto ciò che di soggettivo può esserci in un processo decisionale finalizzato al progetto, tale approccio è detto appunto metodo soggettivo.

Il metodo comporta la soluzione di un sistema di equazioni algebriche lineari.

Per determinare i pesi soggettivi il progettista effettua una valutazione comparativa tra coppie di attributi x_i creando una matrice $D=(d_{kj})_{n \times n}$, i cui elementi d_{kj} , che rappresentano il peso relativo dell'attributo x_k rispetto all'attributo x_j , rispettino le seguenti condizioni:

$$d_{kj} > 0 \quad d_{kj} = 1/d_{ik} \quad d_{kk} = 1 \quad k, j = 1, 2, \dots, n.$$

Consideriamo l'elemento d_{kj} della matrice D . Ipotizziamo che il peso del j -esimo attributo sia tale che:

$$d_{kj} = w_k / w_j.$$

Ciò può essere ottenuto risolvendo un problema di ottimizzazione vincolata, e cioè minimizzando la funzione z_I tale che:

$$z_I = w^T F w = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n (d_{kj} w_j - w_k)^2 \quad (5.1.1)$$

assieme alla condizione:

$$e^T w = 1 \quad (5.1.2)$$

Dove:

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T, \quad e = (1, 1, \dots, 1)^T, \quad F = (f_{ij})_{n \times n}.$$

Gli elementi che compongono la matrice F sono dati da:

$$f_{ii} = n - 2 + \sum_{k=1}^n d_{ki}^2 \quad i = 1, \dots, n$$

$$f_{ij} = -(d_{ij} + d_{ji}) \quad i, j = 1, \dots, n \quad i \neq j$$

F è una matrice definita positiva per ogni $i, j, k \in \{1, \dots, n\}$, in ultimo $d_{ij} \neq d_{ik} d_{kj}$.

Un'ulteriore condizione per la (5.1.1) e la (5.1.2) è che $w > 0$.

Al fine di minimizzare z_I , viene costruita la funzione Lagrangiana L_I :

$$L_I = w^T F w + 2\lambda_1 (e^T w - 1) \quad (5.1.3)$$

dove λ_1 è il Lagrangiano multiplo.

Differenziando la (5.1.3) rispetto a w ed a λ_1 si ottengono le seguenti equazioni:

$$Fw + \lambda_1 e = 0 \quad (5.1.4)$$

$$e^T w = 1 \quad (5.1.5)$$

con $0 = (0, 0, \dots, 0)^T$.

Le equazioni (5.1.4) e (5.1.5) formano un sistema di $(n+1)$ equazioni lineari non omogenee in $(n+1)$ incognite. Dalla risoluzione di quest'ultime otteniamo:

$$w^* = F^{-1}e / e^T F^{-1}e$$

$$\lambda_1^* = -1 / e^T F^{-1}e$$

Un'applicazione del metodo proposto è riportata in "Preference communication in multiattribute procedures for optimised ship design" [5].

Nel prosieguo del presente capitolo e nei successivi riguardanti la gestione delle preferenze si riporteranno i risultati ottenuti per ogni singolo approccio sino ad arrivare all'applicazione completa del metodo di Ma-Fan-Huang.

L'importanza relativa del singolo attributo nei confronti degli altri, è stata espressa per i quattro attributi considerati (Resistenza, Costo, Transport efficiency e Preferenze dei clienti) attraverso una matrice di comparazione in cui ogni singolo attributo è stato confrontato con gli altri al fine di avere l'importanza del singolo rispetto agli altri espressa da un valore numerico integrabile nel metodo soggettivo per ottenere il valore dei pesi.

Per brevità e semplicità ogni singolo attributo, considerato come costo del problema e quindi come elemento da minimizzare, o come beneficio e quindi come elemento da massimizzare, è stato indicato con una lettera, ed in particolare:

- ☛ A= Rt (KN) (costo)
- ☛ B= Costi (Milioni di USD) (costo)
- ☛ C= Transport efficiency (beneficio)
- ☛ D= Preferenze del cliente (beneficio).

Come si può notare, gli attributi scelti per il problema in oggetto sono considerati tutti alla stessa stregua ed integrati nel metodo soggettivo pur non essendo omogenei.

In particolare mentre la resistenza, il costo e la transporty efficiency sono esprimibili e dipendono da una schematizzazione analitica di aspetti prettamente inerenti a scelte progettuali, le preferenze espresse dai clienti sono l'espressione di soggetti che in nessun modo possono essere influenzati da aspetti ingegneristici, ma che esprimono solo il loro modo di percepire un servizio.

La Tabella 5.1.1 riporta i valori che la matrice di comparazione assume nel caso specifico; ovviamente la diagonale principale della stessa sarà pari ad 1 mentre i termini ad indici invertiti saranno reciproci per importanza.

Matrice di comparazione	A	B	C	D
A	1.000	0.700	0.600	0.700
B	1.429	1.000	1.000	0.900
C	1.667	1.000	1.000	0.900
D	1.429	1.111	1.111	1.000

Tabella 5.1.1: Matrice di comparazione

L'applicazione del metodo soggettivo, come prima descritto, porta ad ottenere per i pesi soggettivi degli attributi considerati i valori riportati in Tabella 5.1.2:

Pesi soggettivi		
Rt (KN)	costo	0.1809
Costi (Milioni di USD)	costo	0.2627
Transport efficiency	beneficio	0.2705
Preferenze del cliente	beneficio	0.2858

Tabella 5.1.2: Valori dei pesi oggettivi

Analoga applicazione del metodo soggettivo la si ritrova in “Multiattribute Decision Techniques in Ship Design” [4], in cui è stato investigato l'effetto della posizione longitudinale degli scafi laterali (stagger) di un trimarano non solo sulla resistenza idrodinamica, ma anche sulla stabilità in condizioni integre e sotto falla, sui carichi locali e globali, e sulla tenuta al mare.

5.2 IL METODO OGGETTIVO

Una volta determinato il valore dei pesi soggettivi, il passo successivo per l'applicazione del metodo di Ma-Fan-Huang è lo sviluppo della metodologia che possa esprimere quanto il valore degli attributi ha da fornire, in termini di informazioni, al processo decisionale. Tale metodo detto oggettivo, fornisce il valore dei pesi solo attraverso un processo analitico senza che né il progettista né altri soggetti coinvolti nel processo decisionale possano influenzarne il risultato.

Nell'approccio oggettivo, i pesi sono ottenuti attraverso la risoluzione di un modello matematico. Indichiamo con $B = (b_{ij})_{m \times n}$ la matrice decisionale normalizzata. Questa può essere trasformata in una matrice decisionale normalizzata pesata $R = (r_{ij})_{m \times n}$ in cui:

$$r_{ij} = b_{ij} w_j \quad i=1 \dots m, j=1 \dots n$$

Diciamo S^* un'alternativa artificiale (per esempio la soluzione ideale) definita come:

$$S^* = (r_1^*, r_2^*, \dots, r_n^*)$$

con

$$r_j^* = \max(r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj}) = \max(b_{1j} w_j, b_{2j} w_j, \dots, b_{mj} w_j) = b_j^* w_j \quad (5.17)$$

Nell'equazione (5.17), $b_j^* = \max(b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{mj})$ è il valore ideale dell'attributo x_j .

La distanza tra ogni alternativa reale e quella ideale può essere misurata attraverso lo scarto quadratico:

$$g_i = \sum_{j=1}^n (r_j^* - r_{ij})^2 = \sum_{j=1}^n (b_j^* b_{ij})^2 w_j^2 \quad i=1, 2, \dots, n$$

Il più piccolo valore di g_i corrispondente alla migliore alternativa S_i .

Per determinare w_j viene utilizzato un modello di ottimizzazione multi oggettiva.

Ciò comporta il minimizzare la funzione:

$$G = (g_1, g_2, \dots, g_m) \quad (5.2.1)$$

imponendo le condizioni

$$e^T w = 1 \quad (5.2.2)$$

$$w \geq 0. \quad (5.2.3)$$

Dal metodo lineare della somma pesata, le equazioni (5.2.1), (5.2.2) e (5.2.3) possono essere trasformate in un modello di ottimizzazione a singolo obiettivo, il che comporta il minimizzare la funzione:

$$z_2 = \sum_{i=1}^m g_i = w^T H w \quad (5.2.4)$$

imponendo le condizioni:

$$e^T w = 1 \quad (5.2.5)$$

$$w \geq 0. \quad (5.2.6)$$

dove H è una matrice diagonale $n \times n$ i cui elementi sono:

$$h_{jj} = \sum_{i=1}^m (b_j^* - b_{ij})^2 \quad j=1,2,\dots,n$$

Ovviamente H è invertibile per ogni j per cui:

$$\sum_{i=1}^m (b_j^* - b_{ij})^2 > 0 \text{ da cui per ogni } i \text{ ed ogni } j \text{ vi è almeno una coppia } i, j \text{ per cui } b_j^* \neq b_{ij}.$$

Per minimizzare z_2 , ignoriamo la condizione (5.2.6) e scriviamo la funzione Lagrangiana:

$$L_2 = w^T H w + 2\lambda_2 (e^T w - 1) \quad (5.2.7)$$

dove λ_2 è il Lagrangiano multiplo.

Derivando la (5.2.7) rispetto a w ed λ_2 , si ottengono le seguenti equazioni:

$$H w + \lambda_2 e = 0 \quad (5.2.8)$$

$$e^T w = 1 \quad (5.2.9)$$

con $0 = (0, 0, \dots, 0)^T$.

Le equazioni (5.2.8) e (5.2.9) formano un sistema di $(n+1)$ equazioni lineari non omogenee in $(n+1)$ incognite. Dalla risoluzione di quest'ultime otteniamo:

$$w^* = H^{-1} e / e^T H^{-1} e$$

$$\lambda_2^* = -1 / e^T H^{-1} e$$

in cui gli elementi che compongono il vettore w^* sono:

$$w_j^* = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^m (b_j^* - b_{ij})^2}} \left[\sum_{i=1}^m (b_j^* - b_{ij})^2 \right] \quad (5.2.10)$$

Ovviamente w^* soddisfa la condizione (5.2.6).

Analogamente a quanto fatto nel precedente capitolo e con riferimento al lavoro precedentemente indicato [13], si riportano i risultati relativi all'applicazione del metodo soggettivo agli stessi attributi prima considerati.

Si rammenta che, nel sopracitato lavoro, l'applicazione delle procedure MADM è relativa all'ottimizzazione delle dimensioni principali finalizzate al progetto di un fast ferry per trasporto passeggeri il cui carico pagante sia composto da 300 passeggeri e 1000 macchine. Dello sviluppo dei moduli necessari all'applicazione delle tecniche in oggetto della presente tesi si è già detto nel Capitolo 4.1.

L'applicazione del metodo oggettivo, così come sviluppato nel presente capitolo, porta alla definizione di pesi per gli attributi di seguito riportati in Tabella 5.2.1:

Pesi Oggettivi		
Rt (KN)	Costo	0.34789
Costi (Milioni di USD)	Costo	0.26486
Transport efficiency	Beneficio	0.23651
Preferenze del cliente	beneficio	0.15073

Tabella 5.2.1: Pesi Oggettivi

Analoga applicazione del metodo oggettivo è stata fatta da Barone M., Bertorello C. e Stella M. [4], al fine di investigare gli aspetti detti.

5.3 IN METODO INTEGRATO

L'approccio integrato di Ma, Fan e Huang unisce la possibilità fornita al progettista di esprimere un ordine di preferenze del metodo soggettivo con la necessità di fornire una ranking list di progetti finali i cui attributi rispecchiano l'effettiva importanza degli stessi, data dal metodo oggettivo, nell'ottica dell'obiettivo finale.

In particolare, nella matrice comparativa $D=(d_{kj})_{n*n}$ i pesi, determinati attraverso l'approccio soggettivo, riflettono le considerazioni fornite dal progettista; nella matrice decisionale oggettiva $S=(x_{ij})_{m*n}$ i pesi, determinati attraverso il metodo oggettivo, riflettono informazioni oggettive.

Al fine di ottenere pesi che possano tenere in conto entrambi gli aspetti, soggettivo ed oggettivo, è stato formulato un approccio che considera e minimizza entrambe le funzioni z_1 e z_2 definite in (5.1.1) e (5.2.4), per cui :

Minimizzare le funzioni:

$$z_1 = w^T F w = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n (d_{kj} w_j - w_k)^2 \quad (5.1.1)$$

$$z_2 = \sum_{i=1}^m g_i = w^T H w \quad (5.2.4)$$

imponendo che:

$$e^T w = 1 \quad (5.1.2)$$

$$w \geq 0$$

essendo F ed H le matrici definite in precedenza.

Per risolvere il problema viene utilizzato il metodo lineare della somma pesata applicato ad un'analisi multi obiettivo. La procedura utilizzata consiste nell'minimizzare la funzione:

$$z_3 = w^T Q w \quad (5.3.1)$$

imponendo che:

$$e^T w = 1 \quad (5.3.2)$$

$$w \geq 0 \quad (5.3.3)$$

Essendo:

$$Q = \alpha F + \beta H$$

in cui gli elementi di Q sono dati da:

$$q_{ii} = \alpha(n-2 + \sum_{k=1}^n d_{ki}^2) + \beta(\sum_{k=1}^m (b_i^* - b_{ki})^2) \quad i=1,2,\dots,n$$

$$q_{ij} = -\alpha(d_{ij} + d_{ji}) \quad i,j=1,\dots,n \quad i \neq j$$

ed in cui α e β denotano l'importanza relativa rispettivamente dell'approccio soggettivo e di quello oggettivo, e devono soddisfare le relazioni:

$$0 < \alpha, \quad \beta < 1, \quad \alpha + \beta = 1.$$

Per risolvere le (5.3.1) ignoriamo la condizione (5.3.3) e scriviamo la funzione Lagrangiana:

$$L_3 = w^T Q w + 2\lambda_3 (e^T w - 1) \quad (5.3.4)$$

dove λ_3 è il Lagrangiano multiplo.

Derivando la (5.3.4) rispetto a w ed a λ_3 , e cioè $\frac{\partial L}{\partial w}$ e $\frac{\partial L}{\partial \lambda_3}$ otteniamo:

$$Qw + \lambda_3 e = 0$$

$$e^T w = 1$$

da cui le soluzioni al problema sono date da:

$$w^* = Q^{-1}e / e^T Q^{-1}e$$

$$\lambda_3^* = -1 / e^T Q^{-1}e$$

in cui w^* è il vettore dei pesi determinato attraverso l'approccio soggettivo ed oggettivo integrati assieme.

Al fine di fornire indicazioni sull'applicazione pratica finalizzata allo sviluppo professionale di tale metodologia, riassumendo e sintetizzando quanto detto nei capitoli 5.1 e 5.2 a proposito di quanto proposto da Barone, Begovic, Bertorello e Stella [5], di seguito si riportano i risultati ottenuti per l'applicazione completa del metodo di Ma-Fan-Huang per l'assegnazione di pesi.

Sulla base degli attributi considerati i cui valori sono riportati a titolo di esempio in Tabella 5.3.1:

Design n.	A	B	C	D
	Rt (kN)	Costo (Milioni di USD)	Transport efficiency	Preferenze del cliente
1	2098.12	55.08	15.65	0.07
2	3248.45	64.60	13.88	0.07
3	2071.01	53.53	15.70	0.07
-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----
40	1611.21	54.78	9.96	0.22
41	1153.95	47.67	10.10	0.22
42	730.44	39.55	9.99	0.22

Tabella 5.3.1: Valori degli attributi considerati per le varie alternative

E' stata valutata l'importanza relativa del singolo attributo nei confronti degli altri, espressa attraverso una matrice di comparazione i cui valori sono riportati in Tabella 5.3.2:

Matrice di comparazione	A	B	C	D
A	1.000	0.700	0.600	0.700
B	1.429	1.000	1.000	0.900
C	1.667	1.000	1.000	0.900

Tabella 5.3.2: Matrice di Comparazione

L'applicazione del metodo soggettivo conduce ai seguenti risultati riportati in Tabella 5.3.3:

Pesi Soggettivi		
Rt (KN)	costo	0.1809
Costi (Milioni di USD)	costo	0.2627
Transport efficiency	beneficio	0.2705
Preferenze del cliente	beneficio	0.2858

Tabella 5.3.3: Valore dei pesi soggettivi

L'applicazione del metodo oggettivo conduce ai seguenti risultati riportati in Tabella 5.3.4:

Pesi Oggettivi		
Rt (KN)	costo	0.34789
Costi (Milioni di USD)	costo	0.26486
Transport efficiency	Beneficio	0.23651
Preferenze del cliente	beneficio	0.15073

Tabella 5.3.4: Valore dei pesi oggettivi

L'applicazione del metodo integrato di Ma-Fan-Huang, assumendo un'importanza relativa dell'approccio soggettivo rispetto a quello oggettivo all'interno dell'approccio integrato, settata tramite i coefficienti α e β , $\alpha=0.35$ e di conseguenza $\beta=0.65$ conduce ad un valore dei pesi pari a (Tabella 5.3.5):

Pesi Integrati		
Rt (KN)	costo	0.32143
Costi (Milioni di USD)	costo	0.27064
Transport efficiency	beneficio	0.24548
Preferenze del cliente	beneficio	0.16245

Tabella 5.3.5: Valore dei pesi Integrati

Volendo dare un'indicazione sulla variabilità in termini di progetto ottimale in seno alle alternative considerate, nella seguente tabella è riportata la classifica dei progetti considerati ottimali ottenuta senza l'utilizzo dei pesi e con l'utilizzo dei pesi forniti dalle tre differenti metodologie. I risultati ottenuti sono riportati anche nella Tabella 5.3.6 e nella Figura 5.3.1:

Classifica finale	In assenza di pesi	Approccio Soggettivo	Approccio Oggettivo	Approccio Integrato
	Progetto n.	Progetto n.	Progetto n.	Progetto n.
1	50	50	11	11
2	48	52	50	50
3	52	48	48	48
4	58	58	58	58
5	45	45	52	52
6	56	56	45	45

Tabella 5.3.6: Classifica finale delle alternative

Classifica finale	In assenza di pesi	Approccio Soggettivo	Approccio Oggettivo	Approccio Integrato
	Progetto n.	Progetto n.	Progetto n.	Progetto n.
7	42	54	56	56
8	54	42	42	42
9	57	41	54	54
10	41	57	9	9

Tabella 5.3.6: Classifica finale delle alternative

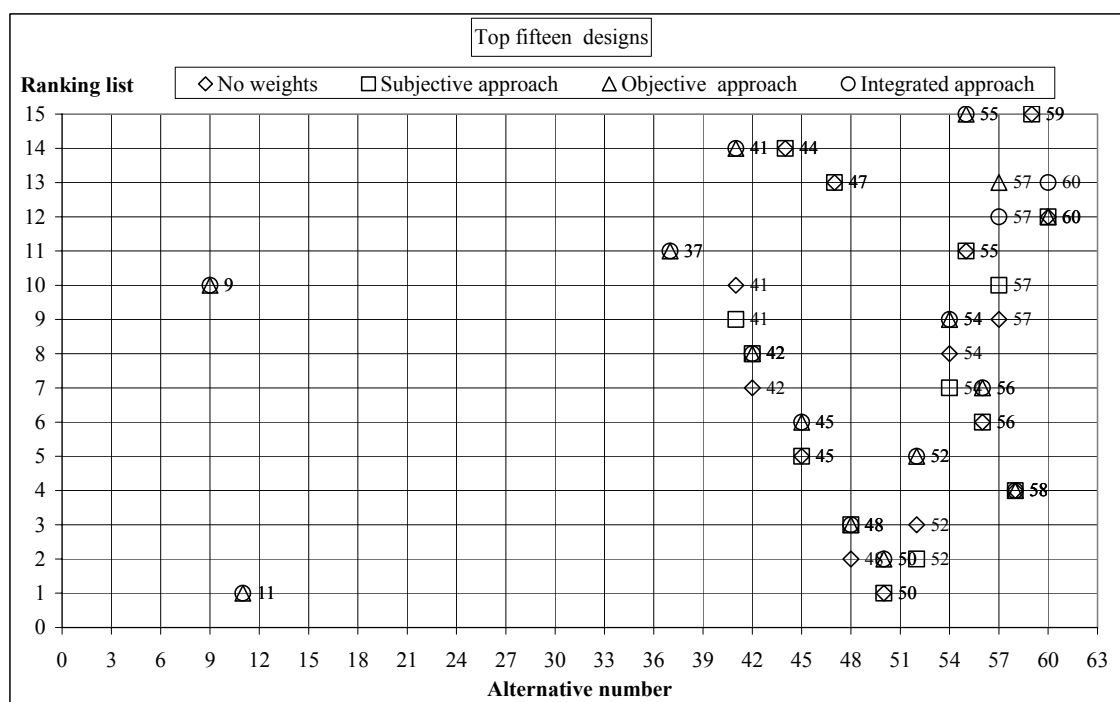


Fig. 5.3.1: Ranking delle migliori 15 alternativa in forma grafica

Analoga applicazione è stata fatta in “Multiattribute Decision Techniques in Ship Design” [4], in cui è stato investigato l’effetto della posizione longitudinale degli scafi laterali (stagger) di un trimarano non solo sulla resistenza idrodinamica ma anche sulla stabilità in condizioni integre e sotto falla, sui carichi locali e globali, e sulla tenuta al mare.

In Figura 5.3.2 sono riportati i risultati ottenuti secondo la logica sopra descritta:



Fig. 5.3.2: Influenza dei pesi sul risultato finale

Dai risultati esposti precedentemente si evidenzia l'influenza che i differenti approcci hanno sul risultato finale. In questa ottica, tale procedura è particolarmente funzionale poiché consente di investigare sulle diverse possibilità variando, secondo la propria sensibilità e volontà, l'importanza relativa dei vari attributi in seno alla matrice di comparazione e l'importanza relativa dell'approccio soggettivo ed oggettivo in seno al metodo integrato variando i coefficienti α e β che ne determinano la rispettiva importanza. Tale approccio può risultare particolarmente utile allorquando non esiste un'ipotesi dichiaratamente migliore di basic design nello sviluppo di un nuovo progetto o nella selezione della soluzione migliore tra progetti già esistenti.

PARTE II: SVILUPPO ED APPLICAZIONE AGLI SCAFI A SOSTENTAMENTO IDRODINAMICO

6. I MODULI DI PROGETTO

6. I MODULI DI PROGETTO

Con riferimento a quanto sviluppato nei precedenti capitoli, nell'ottica di rendere funzionali alla quotidiana pratica professionale le tecniche MADM applicate al basic design, nel prosieguo verrà proposto lo sviluppo di quattro moduli progettuali di supporto ad una procedura di progetto applicata secondo quanto indicato da Ma, Fan e Huang [13]. In particolare verranno sviluppati i moduli relativi al dimensionamento strutturale, alla resistenza, alla tenuta al mare di imbarcazioni plananti.

Ciascun modulo verrà sviluppato prendendo spunto da riferimenti normativi e teorie progettuali che rappresentano lo stato dell'arte del progetto di questa tipologia di imbarcazioni, integrate e rese di semplice applicazione operativa attraverso lo sviluppo di un codice di calcolo in visual basic supportato nella lettura dei risultati da un foglio di calcolo Excel. La stessa procedura proposta da Ma, Fan e Huang [13] verrà supportata dai medesimi strumenti di calcolo e dall'interpretazione dei risultati, in modo da rendere immediata la risposta del sistema al cambio di variabili imposto dalla ricerca della soluzione ottimale.

Perché questo sia fattibile è auspicabile “tarare” i moduli progettuali prescelti in modo tale che gli elementi di input al modulo, le variabili ed i parametri siano correlati per tutti i moduli, così da identificare univocamente il progetto valutato nella procedura di Ma, Fan e Huang [13] con le variabili che l'hanno generato.

6.1 DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE: NORME E PROCEDURE DI RIFERIMENTO, LA NORMATIVA ISO 12215

Sino al 1998, la progettazione e l'immissione in commercio delle imbarcazioni da diporto prodotte negli Stati membri dell'Unione Europea era regolamentata in maniera indipendente seguendo le direttive che ogni singolo Stato emanava in proposito. In particolare, agli organismi di classifica individuati dai singoli Stati, era demandato il compito di promulgare regolamenti di riferimento e controllare che le imbarcazioni immesse in commercio rispettassero i requisiti prescritti dai regolamenti stessi. In Italia tale compito era svolto dal RINa "Registro Italiano Navale", che, come tutti gli altri enti di classifica, aveva un proprio regolamento di riferimento. Il 16 giugno 1994, adottando il principio del ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri, il Parlamento Europeo e il Consiglio emanarono la direttiva 94/25/CE riguardante le imbarcazioni da diporto. Nell'ambito della stessa 94/25/CE viene identificato il Comitato di Normazione Europea (CEN) come organismo atto a determinare gli standard armonizzati cui tale principio di uniformità deve fare riferimento. L'insieme delle disposizioni che garantiscono tali standard viene raccolto dal CEN in una pubblicazione chiamata "Rsg Guidelines".

Con il Decreto Legislativo del 14 agosto 1996, n. 436 "Attuazione della direttiva 94/25/CE in materia di progettazione, di costruzione e immissione in commercio di unità da diporto", lo Stato italiano recepisce tale direttiva e sancisce che: "Possono essere immesse in commercio e messe in servizio per uso conforme alla loro destinazione, le unità da diporto che recano la marcatura "CE"; ed ancora, con lo stesso decreto, identifica, quali organismi di certificazione autorizzati ad espletare le procedure di valutazione di conformità, i soggetti che soddisfano i requisiti fissati con regolamento del Ministro dell' Industria, del Commercio e dell' Artigianato, di concerto con il Ministro dei Trasporti e della Navigazione. Viene così anche nell'ambito della nautica da diporto adottata la logica del principio di uniformità di prodotto garantito tramite la marcatura CE.

In tale ambito normativo, i vari enti di classifica sono identificati come organismi di certificazione autorizzati ad espletare le procedure di valutazione di conformità, ed i regolamenti di riferimento legati ad essi non sono più requisiti da rispettare ma semplicemente linee guida alla progettazione, essendo l'immissione in commercio

legata al rilascio della marcatura CE e quindi agli standard armonizzati definiti dalle “Rsg Guidelines”.

Il dimensionamento strutturale delle imbarcazioni da diporto realizzate in FRP sino ad oggi, nella stragrande maggioranza dei casi è stato effettuato in Italia, a meno di particolari casistiche, avendo come riferimento quanto prescritto dal regolamento RINA “Regolamento per la costruzione e la classificazione delle unità da diporto” SEZIONE B – PARTE III, Costruzione dello scafo – Scafi in plastica rinforzata.

Volendo però tenere in considerazione ciò che inevitabilmente sarà il futuro, non è possibile ignorare nel presente lavoro ciò che, ad oggi, viene indicata come norma in via di approvazione definitiva, ma che nell’immediato futuro, con le dovute modifiche, sarà lo standard progettuale a cui riferirsi per il dimensionamento strutturale delle imbarcazioni da diporto e cioè la UNI EN ISO 12215 [36].

A rigore del vero vi è da dire che la parte 1 di detta norma “Unità di piccole dimensioni – Costruzione dello scafo e dimensionamento – Materiali: Resine termoindurenti, rinforzi di fibra di vetro, laminato di riferimento”, è già stata approvata e si può fare riferimento ad essa per la determinazione delle caratteristiche meccaniche che i laminati devono avere; al contrario la parte 5 “Small craft – Hull construction and scantlings – Design pressures, design stresses, scantling determination”, la parte cioè che riguarda il dimensionamento strutturale vero e proprio, risulta essere in corso di approvazione.

Il primo passo per lo sviluppo del modulo strutturale sarà quindi l’analisi dei fattori di influenza, dei parametri e dei limiti di applicabilità della UNI EN ISO 12215 per poi passare all’implementazione del modulo stesso.

6.1.1 I materiali da costruzione e loro caratteristiche meccaniche

L’applicazione di qualsiasi formulazione legata al dimensionamento strutturale non può prescindere dalla conoscenza dei materiale utilizzati e delle loro caratteristiche meccaniche.

Oggi, la varietà di materiali utilizzabili per la costruzione di imbarcazioni da diporto lascia ampio margine a progettisti e cantieri, la scelta, quindi, spesso è legata alle singole esigenze specifiche del cantiere in termini di soluzioni progettuali adottate, competenza e disponibilità di maestranze, target finale di prodotto inteso come il giusto rapporto tra qualità tecnologica e costo al pubblico dell’imbarcazione. In tale ottica, il vetro E, se pur con definiti limiti tecnologici, è oggi il materiale di uso più comune in ambito nautico.

Le fibre usate come rinforzo nei compositi sono oggi disponibili sotto varie forme, che sono sostanzialmente così classificate:

- ☞ Roving
- ☞ Chopped strand
- ☞ Mat
- ☞ Tessuto

Il *roving* è costituito da un gruppo di fibre continue ed essenzialmente parallele, avvolte in bobine. Esistono vari tipi di roving, che si distinguono in base al titolo, cioè al peso, espresso in grammi, di un tratto di roving della lunghezza di un chilometro.

Il numero che esprime il titolo si dice numero di tex.

Un roving può essere tagliato in tanti pezzi di lunghezza limitata, in modo da ottenere fibre corte di lunghezza generalmente variabile tra 3 e 25 mm. Il prodotto così ottenuto si dice *chopped strand*.

Se si dispongono in piano, con orientazione causale, delle fibre tagliate si ottiene un *mat*. In un mat le fibre sono tenute insieme mediante opportuni leganti.

In tal modo il prodotto acquista la compattezza di un feltro, e può essere arrotolato e maneggiato.

I mat sono selezionati in base al loro peso per unità di superficie, che varia normalmente tra 40 e 800 gr/m^2 .

Allo stesso modo delle fibre tessili, quelle di rinforzo dei compositi possono essere tessute intrecciando fasci di roving secondo una configurazione trama ordito.

Si ottengono in tal modo *tessuti*, che sono caratterizzati generalmente dal peso per unità di superficie e dal numero di roving per unità di lunghezza sia nella direzione dell'ordito (longitudinale) che in quella della trama (trasversale).

Fra le resine quelle più importanti nel campo dei compositi utilizzati nel settore nautico sono le poliestere, le vinilestere, le epossidiche, le fenoliche.

Da quanto sopra si evince che, fermo restando il fornito data base sulle caratteristiche meccaniche che un determinato cantiere riesce a realizzare per ogni laminazione tipo effettuata, la conoscenza delle caratteristiche meccaniche da utilizzarsi in fase di progetto è su base previsionale.

A tal proposito la ISO 12215 fornisce delle formule semiempiriche che consentono di ipotizzare, in fase di progetto, le caratteristiche meccaniche su cui basare il calcolo della stratificazioni dei vari elementi strutturali.

La prima condizione posta dalle norme è che i laminati utilizzati devono garantire comunque valori minimi delle caratteristiche meccaniche che le stesse norme indicano e che di seguito sono riportati in Tabella 6.1.1:

Valori minimi N/mm²	ISO 12215-1
σ_{ut}	80
σ_{uf}	135
σ_{uc}	
τ_u	50
E_t	6350
E_f	5200
E_c	
G	
taglio interlaminare	15

Tabella 6.1.1: Caratteristiche meccaniche minime per i laminati secondo la ISO 12215.

I valori indicati come minimi dalla ISO 12215-1 fanno riferimento ad un contenuto di rinforzo vetroso pari a 0.3 e a laminati ottenuti con solo mat.

Un esempio di quanto fornito in appendice della ISO 12215-5 per la valutazione preliminare delle caratteristiche dei materiali è riportato in Figura 6.1.1:

Property	Requirement, N/mm ²	
Chopped strand mat (CSM) reinforcement		
	Hand lay-up	Spray-up
Ultimate tensile strength, σ_{ut}	$200 \cdot \psi + 25$	$150 \cdot \psi + 25$
Tensile modulus, E_t	$(15 \cdot \psi + 2) \cdot 10^3$	
Ultimate flexural strength, σ_{uf}	$502 \cdot \psi^2 + 106,8$	$300 \cdot \psi^2 + 106,8$
Flexural modulus, E_f	$(33,4 \cdot \psi^2 + 2,2) \cdot 10^3$	
Ultimate compressive strength, σ_{uc}	$150 \cdot \psi + 72$	same
Compressive Modulus, E_c	$(40 \cdot \psi - 6) \cdot 10^3$	
Ultimate shear strength, τ_u	$80 \cdot \psi + 38$	same
Shear modulus	$(1,7 \cdot \psi + 2,24) \cdot 10^3$	

Fig. 6.1.1: Valutazione delle caratteristiche meccaniche per il MAT

Le formule empiriche sopra riportate forniscono le caratteristiche meccaniche del singolo strato in funzione del contenuto di vetro, solo relativamente a vetro poliestere, ed in relazione al tipo di rinforzo utilizzato. Un confronto tra le caratteristiche meccaniche per un contenuto di rinforzo vetroso pari a 0.4 è fornito in Tabella 6.1.2 e mostrato in Figura 6.1.2 e 6.1.3:

$\psi=0.4$	ISO 12215-5		
N/mm ²	Chopped	Woven and crossplied	Unidirectional
σ_{ut}	105	150	238
σ_{uf}	187.12	187.12	
σ_{uc}	132	132	
τ_u	70	70	
E_t	8000	11500	18200
E_f	7544	7544	
E_c	10000	10000	
G	2920	2920	

Tabella 6.1.2: Caratteristiche meccaniche dei diversi tessuti per contenuti di vetro E pari a 0.4

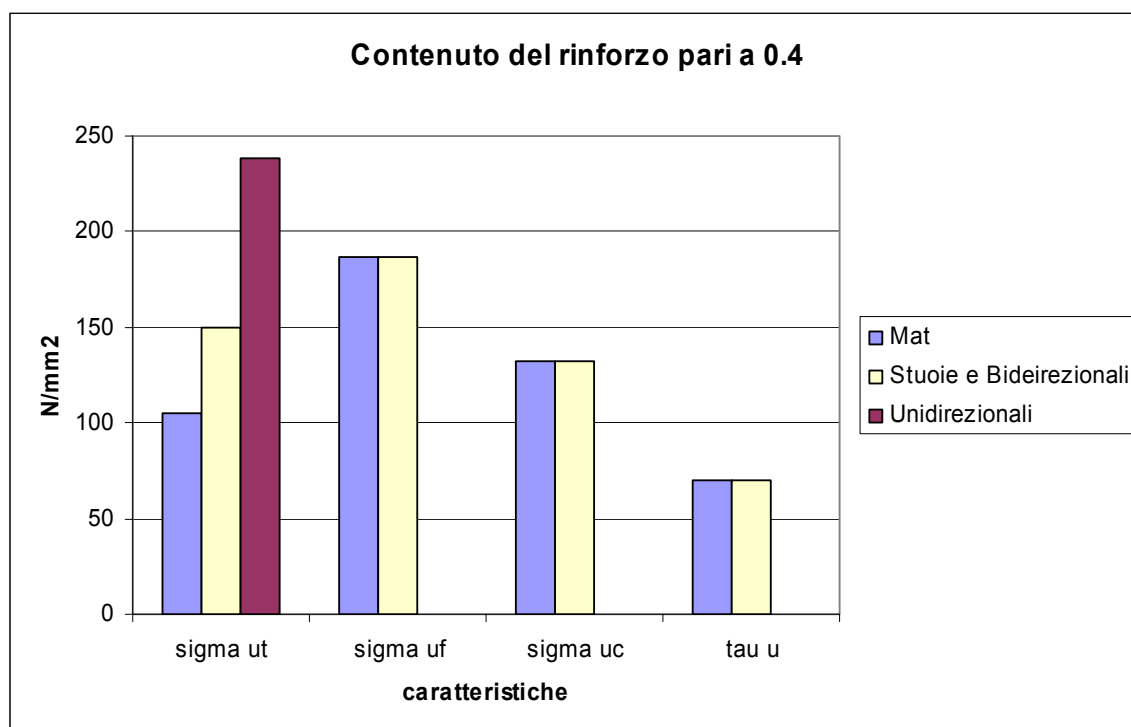


Fig. 6.1.2: Caratteristiche per contenuto di rinforzo vetroso pari a 0.4

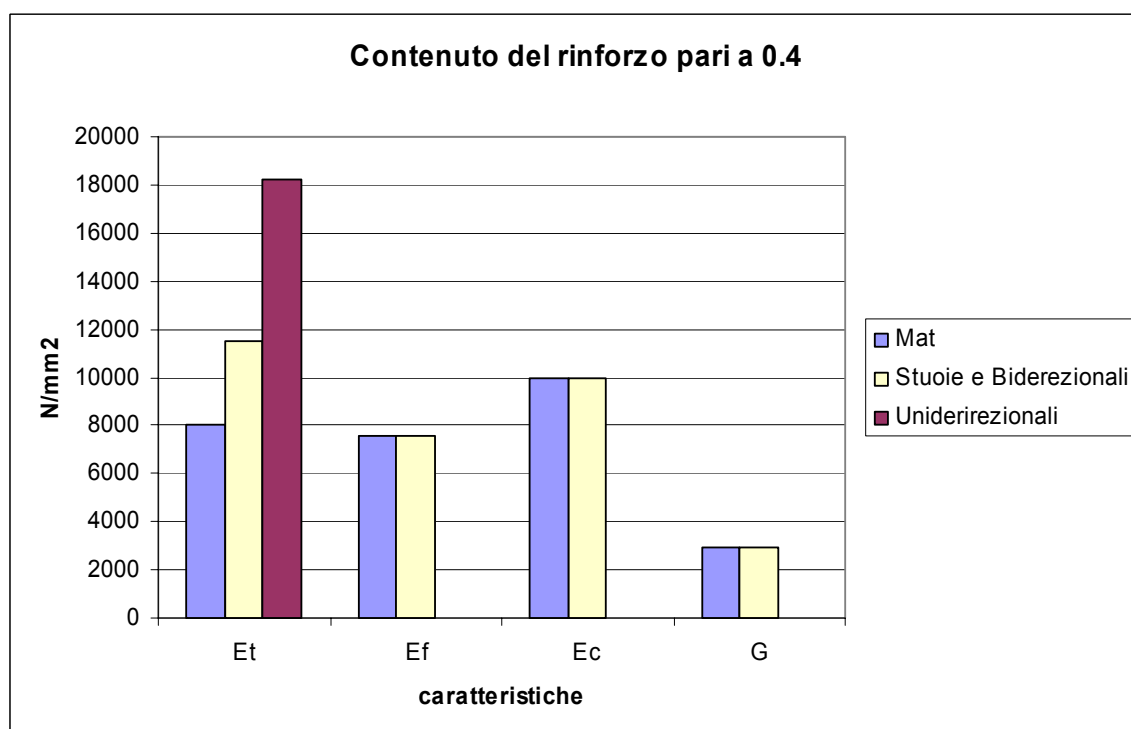


Fig. 6.1.3: Caratteristiche per contenuto di rinforzo vetroso pari a 0.4

Con riferimento all'utilizzo di stratificazioni composte da rinforzi aggregati con differenti modalità differenti, la ISO 12215-5 consiglia l'utilizzo di un differente contenuto di rinforzo vetroso nel calcolo delle caratteristiche meccaniche di progetto. In

virtù di ciò possono sorgere delle perplessità circa il valore di resistenza flessionale e rigidezza flessionale da utilizzarsi nella determinazione degli spessori minimi di fasciame e nella determinazione delle dimensioni minime dei rinforzi avendo ogni singola lamina un valore di contenuto vetroso differente e di conseguenza valori meccanici che la caratterizzano differenti.

Una soluzione a questo inconveniente può essere quello di considerare un contenuto di rinforzo medio nello strato tramite la relazione:

$$\psi = \frac{w_1 + w_2}{\frac{w_1}{\psi_1} + \frac{w_2}{\psi_2}}$$

stando il fatto che, come evidenziato da in Tabella 6.1.2, le formule fornite dalla ISO 12215-5 per la valutazione della caratteristiche meccaniche flessionali di progetto per i laminati, nel caso di lamine di MAT o Stuoia e di Bidirezionale a parità di contenuto vetroso conducono agli stessi risultati.

La ISO 12215-5 si presta ad essere utilizzata con qualsivoglia materiale da costruzione alternativo al vetro poliestere, a patto di avere la caratterizzazione meccanica ed elastica dei componenti che si intende utilizzare ma non contempla ad oggi l'utilizzo di calcoli diretti.

I valori di riferimento delle caratteristiche meccaniche ottenute, considerando i valori di contenuto vetroso consigliati dalla ISO 12215-5, sono riportati in Tabella 6.1.3:

N/mm2	Chopped	Woven	Crossplied	Unidirectional
ψ	0.3	0.45	0.5	0.6
σ_{ut}	85	170	190	318
σ_{uf}	151.98	208.455	232.3	
σ_{uc}	117	139.5	147	
τ_u	62	74	78	
E_t	6500	13000	14500	23400
E_f	5206	8963.5	10550	
E_c	6000	12000	14000	
G	2750	3005	3090	

Tabella 6.1.3 : Caratteristiche meccaniche al variare del tessuto e del contenuto vetroso

Vi è da notare che i valori forniti non tengono in conto l'influenza di fattori come la tecnologia di produzione, le condizioni di lavorazione, la geometria dei manufatti, gli effetti di sovrapposizione delle stratificazioni e tutti quegli aspetti legati ad un processo costruttivo che, nella migliore delle ipotesi, può essere considerato semi artigianale., se non attraverso la frazione ponderale di rinforzo.

6.1.2 Il Lay-out strutturale

Le ipotesi base di lay-out strutturale fanno riferimento ad un'analisi con schema traviforme di pannelli e strutture riconoscibile nella forma analitica con cui vengono proposte le formule di valutazione di spessori, moduli di resistenza ed inerzie salvo poi introdurre coefficienti correttivi che tengono conto di quanto la singola struttura, considerata traviforme, si allontana dal più realistico approccio a piastra.

La norma ISO 12215-5 non fa distinzione tra strutture di tipo longitudinale e strutture di tipo trasversale, riconoscendo implicitamente la possibilità di utilizzo di una tipologia mista. Di fatto gli elementi geometrici dai cui dipendono i carichi e i dimensionamenti strutturali rimangono in entrambi i casi gli stessi.

Ancora entrambe prevedono la possibilità di utilizzo di fasciami in single skin o in sandwich e strutture con anima in materiale espanso e rivestimenti in materiale composito.

6.1.3 I carichi

Le pressioni di calcolo per i fasciami e le strutture del fondo e del fianco, così come presentate, fanno riferimento sia a carichi locali statici che dinamici. La precisazione "locali" è dovuta, nel senso che, essendo queste normative applicabili ad imbarcazioni da diporto la cui lunghezza massima è di 24 m, la trave nave è in genere una trave tozza. Da ciò ne segue che ben difficilmente la struttura nave avrà problemi di resistenza a carichi globali.

La normativa UNI EN ISO 12215-5 definisce in ogni caso le due tipologie di pressioni, statiche e dinamiche, considerando nel calcolo della pressione dinamica da impatto, direttamente le accelerazioni legate alla massa dell'imbarcazione e la velocità di progetto che diventa quindi un dato di primo piano nel calcolo delle sollecitazioni. Le pressioni agenti sul fianco dipendono oltre che dai fattori sopraccitati anche dall'altezza di slamming che varia a seconda non del tipo di sostentamento ma del tipo di imbarcazione (barche a vela, motoscafi o altri tipi di imbarcazione).

Gli elementi geometrici che entrano in gioco nel calcolo sono sostanzialmente gli stessi di qualsiasi regolamento proposto dai vari enti di classifica; ritroviamo quindi l'angolo di rialzamento del fondo, l'area del pannello, l'angolo di assetto in corsa, la posizione longitudinale della sezione considerata oltre che i dati principali dell'imbarcazione. Le pressioni di calcolo dei ponti e delle paratie sono sempre pressioni statiche.

6.1.4 Il dimensionamento strutturale

La struttura delle formule di dimensionamento di fasciami ed elementi portanti è legata ad un approccio traviforme al problema. I risultati sono poi adattati mediante coefficienti che tengono conto di quanto il caso reale si differenzia dalla schematizzazione.

Vengono considerati per i fasciami sia la resistenza flessionale che la rigidità flessionale; analogo approccio si ha per la valutazione degli elementi strutturali, per cui si forniscono formule per la valutazione dei valori minimi dei moduli di resistenza e d'inerzia richiesti per l'elemento resistente considerato, in funzione della lunghezza non supportata dell'elemento resistente e della larghezza del fasciame ad esso associato considerando collaborante il fasciame esterno nel dimensionamento degli elementi strutturali.

6.1.5 I Coefficienti di sicurezza

La norma ISO 12215-5 fornisce i valori delle tensioni ammissibili secondo la posizione del fasciame considerato e la posizione dell'elemento resistente come in Tabella 6.1.4:

Elemento	Sollecitazioni ammissibili ISO 12215-5
Fasciame del fondo	0.5σ
Fasciame del fianco	0.5σ
Fasciame dei ponti	0.33σ

Tabella 6.1.4: I coefficienti di sicurezza secondo la ISO 12215

La genericità della ISO 12215-5 nella sua applicabilità a qualsivoglia materiale composito, non si traduce però in una maggiore accuratezza nella valutazione dei coefficienti di sicurezza che rimangono gli stessi indipendentemente dal composito utilizzato nella costruzione e dalle tecniche di lavorazione.

6.1.6 Il modulo strutturale

In considerazione di quanto sopra detto a proposito della uniformità di prodotto e della necessità di sviluppare procedure decisionali MADM fruibili nella quotidiana pratica professionale, è stata scelta la ISO 12215-5 quale base per lo sviluppo del modulo delle strutture di progetto.

Appare chiaro, infatti, che gli elementi che entrano in gioco nell'utilizzo di questa come riferimento strutturale e l'estrema versatilità nella scelta dei materiali da costruzione, nonché la chiara comprensione delle formule adottate, riconducibili a note logiche ampiamente conosciute, ne fanno uno strumento ideale per lo scopo che si vuole raggiungere.

<i>Categoria di progetto</i>	
<i>Tipo di imbarcazione</i>	
<i>Loa</i>	
<i>Lwl</i>	
<i>Bwl</i>	
<i>v</i>	
<i>T</i>	
<i>Delta</i>	
<i>Awp</i>	

Tabella 6.1.5: Parametri principali dell'imbarcazione da dimensionare

Una volta stabiliti infatti gli elementi geometrici principali, (Tabella 6.1.5) intesi come i parametri di progetto, che l'imbarcazione oggetto di studio dovrà soddisfare, in genere dipendenti dal profilo di missione, dal target progettuale, da specifiche richieste dell'armatore, da esigenze di mercato e da scelte volute dal progettista e basate sul gusto e sull'esperienza, le variabili coinvolte nel processo dimensionale non sono altro che elementi geometrici, quali l'angolo di rialzamento del fondo, l'area del pannello, l'angolo di assetto in corsa, la posizione longitudinale della sezione considerata, Tabella 6.1.6:

x	Bc	β	l	b	h	s	τ

Tabella 6.1. 6: caratteristiche dimensionali base per il calcolo strutturale

Indipendentemente dal fatto se si possiede o meno un data base che fornisca le caratteristiche meccaniche dei materiali da utilizzarsi, rimane la possibilità offerta di utilizzare nella progettazione qualsivoglia tipo di materiale composito. Va da se che questo elemento all'occorrenza può diventare il supporto per inserire, nella valutazione degli attributi, altre variabili date dalle caratteristiche dei materiali, Tabella 6.1.7:

Caratteristiche dei materiali	
Et	
Ec	
σ_t	
σ_c	
τ	

Tabella 6.1.7: Caratteristiche dei materiali da utilizzare

Le variabili così determinate, fatte variare ad intervalli prestabiliti o secondo gusto e sensibilità del progettista una alla volta o tutte assieme, conducono ad ottenere le pressioni agenti sulle varie parti dello scafo e sui vari elementi strutturali e diversi valori di spessori di laminazione minimi per il fasciame o moduli di inerzia e moduli di resistenza minimi per strutture a sandwich, Tabella 6.1.8:

P_b	SM_o	SM_i	I_{min}	t_{outer}	t_{inner}	((d_o+d_c)/2)_{min}

Tabella 6.1.8: Output del calcolo di dimensionamento

I valori così ottenuti forniscono, quindi, diverse ipotesi di dimensionamento strutturale su cui basare l'implementazione della procedura proposta da Ma Fan e Huang [13].

6.1.7 Un esempio di applicazione del modulo strutturale

Nel prosieguo viene riportato un esempio di dimensionamento strutturale effettuato secondo la ISO 12215-5 per una imbarcazione planante tipo, le cui principali caratteristiche dimensionali sono riportate in Tabella 6.1.9:

Categoria di progetto	A
Tipo di imbarcazione	Motor craft
Loa	17 m
Lwl	14.1 m
Bwl	4.3 m
T	0.95 m
Delta	29000 kg
Awp	50.86 m ²
τ	4°

Tabella 6.1.9: Caratteristiche dimensionali dell'imbarcazione da dimensionare

Per due velocità di progetto rispettivamente di 15 e 30 nodi, è stato effettuato il computo delle pressioni agenti sul fondo, sul fianco e sul ponte considerato esposto. Il calcolo delle pressioni e degli spessori è stato effettuato in corrispondenza di sezioni poste ad interasse di 2.00 m considerando l'ascissa $x=0$ quella posta a 1.27 m dalla P_{ad} così come riportato in Tabella 6.1.10:

x	1.27	3.27	5.27	7.27	9.27	11.27	13.27
----------	------	------	------	------	------	-------	-------

Tabella 6.1.10: Ascisse di calcolo

Il lay out strutturale adottato è riportato in Figura 6.1.4

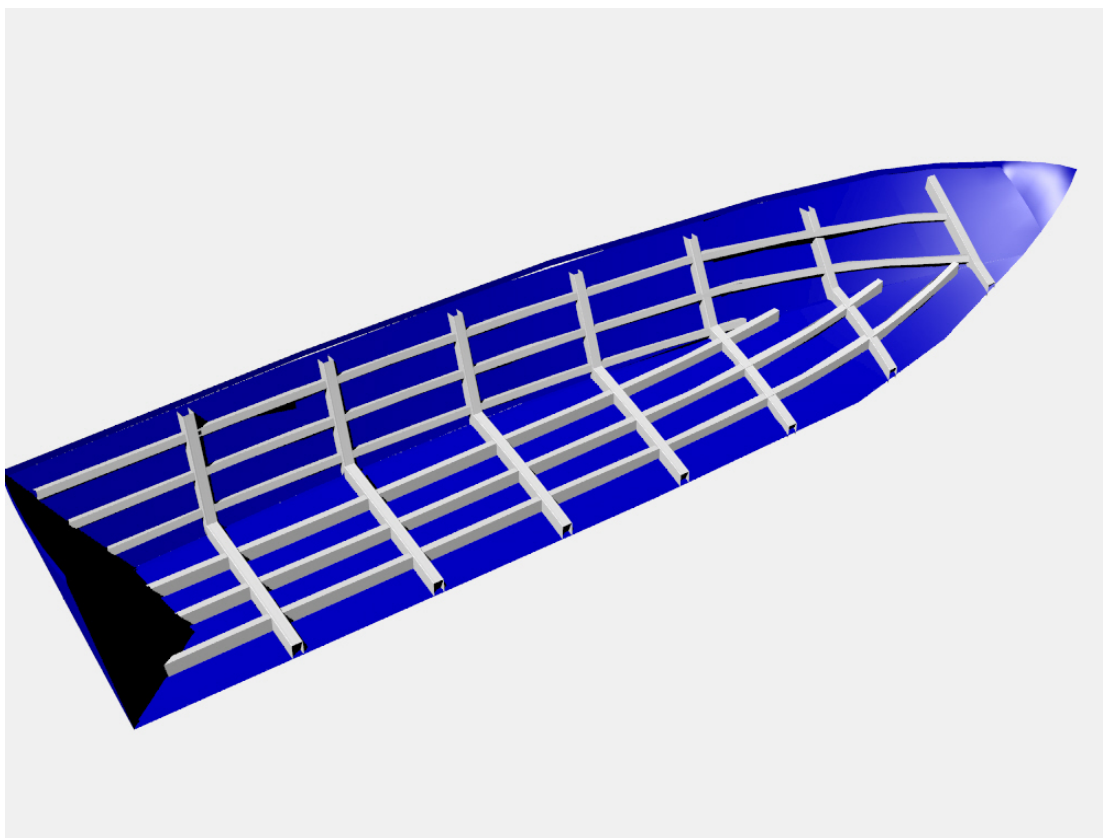


Fig. 6.1.4: Lay-out strutturale

I risultati ottenuti sono riportati nelle Figure 6.1.5 e 6.1.6:

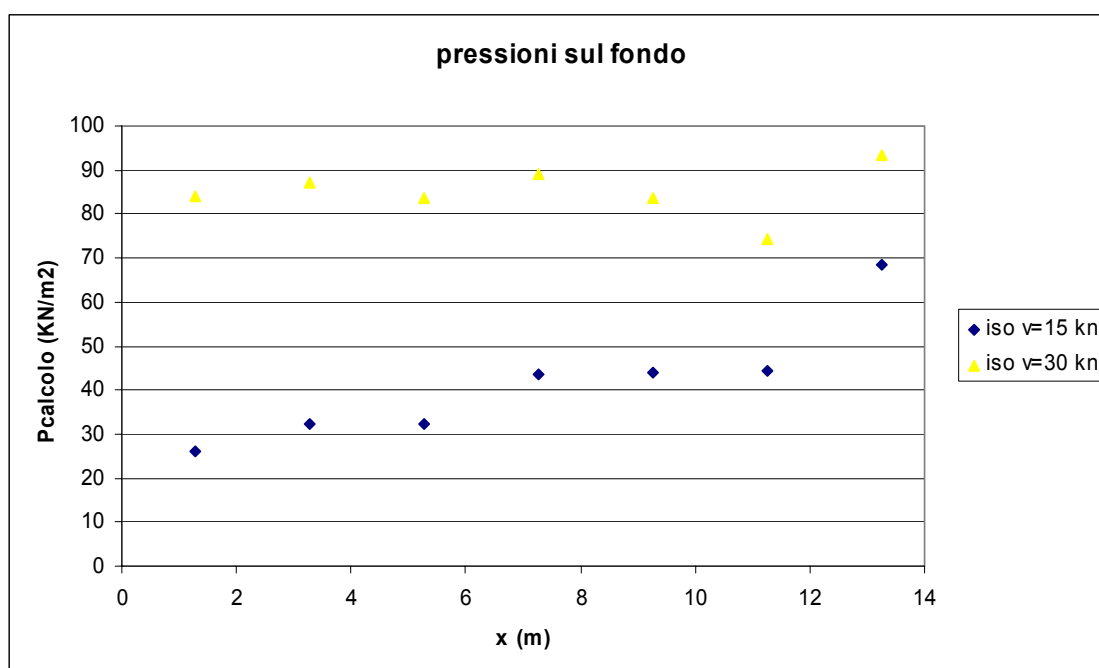


Fig. 6.1.5: Pressioni sul fondo

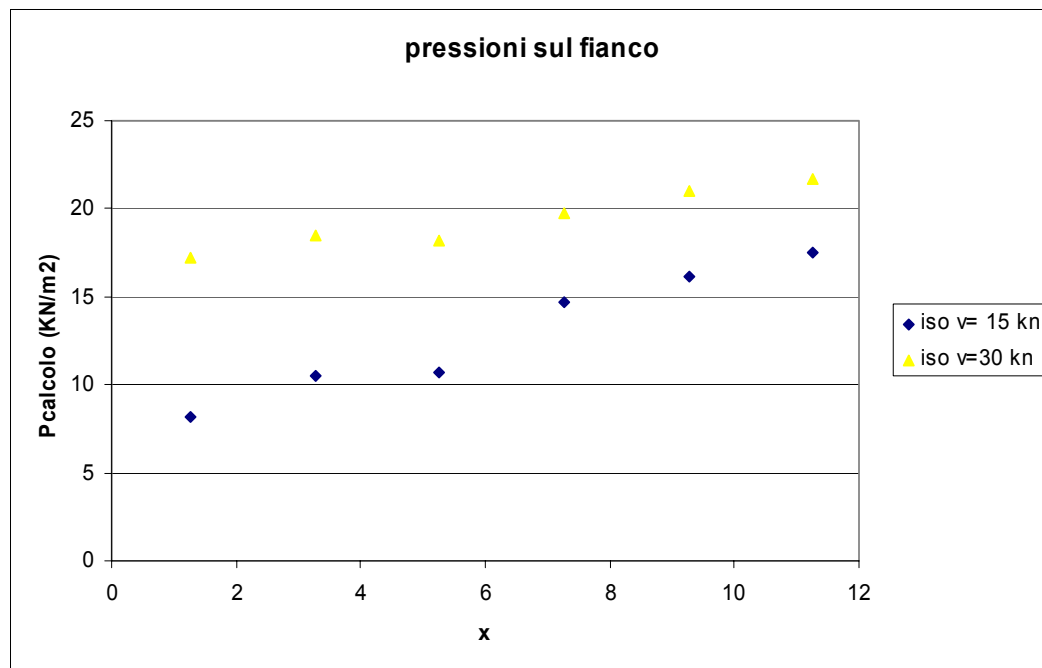


Fig. 6.1.6: Pressioni sul fianco

Sulle base delle pressioni ottenute in corrispondenza delle predette sezioni si sono valutati gli spessori minimi di fasciame.

La scelta delle matrici per la laminazione dei fasciami è caduta sul MAT e stuoia. Il contenuto medio di rinforzo vetroso contenuto nel laminato è stato posto pari a 0.4, da cui si sono ottenute le seguenti caratteristiche meccaniche uguali per entrambe le matrici ed entrambe le normative di riferimento come da Tabella 6.1.11:

Caratteristiche dei materiali in N/mm ²	
E_f	7544
σ_{uf}	187.12

Tabella 6.1.11: Caratteristiche dei materiali utilizzati

I risultati ottenuti sono riportati nelle Figure 6.1.7 e 6.1.8:

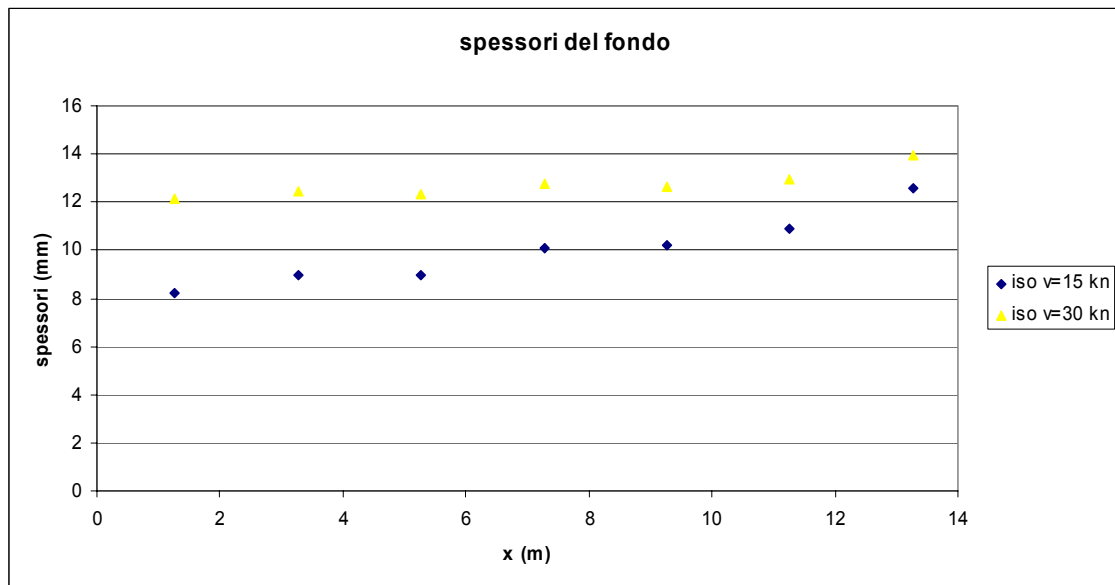


Fig. 6.1.7: Spessori del fondo

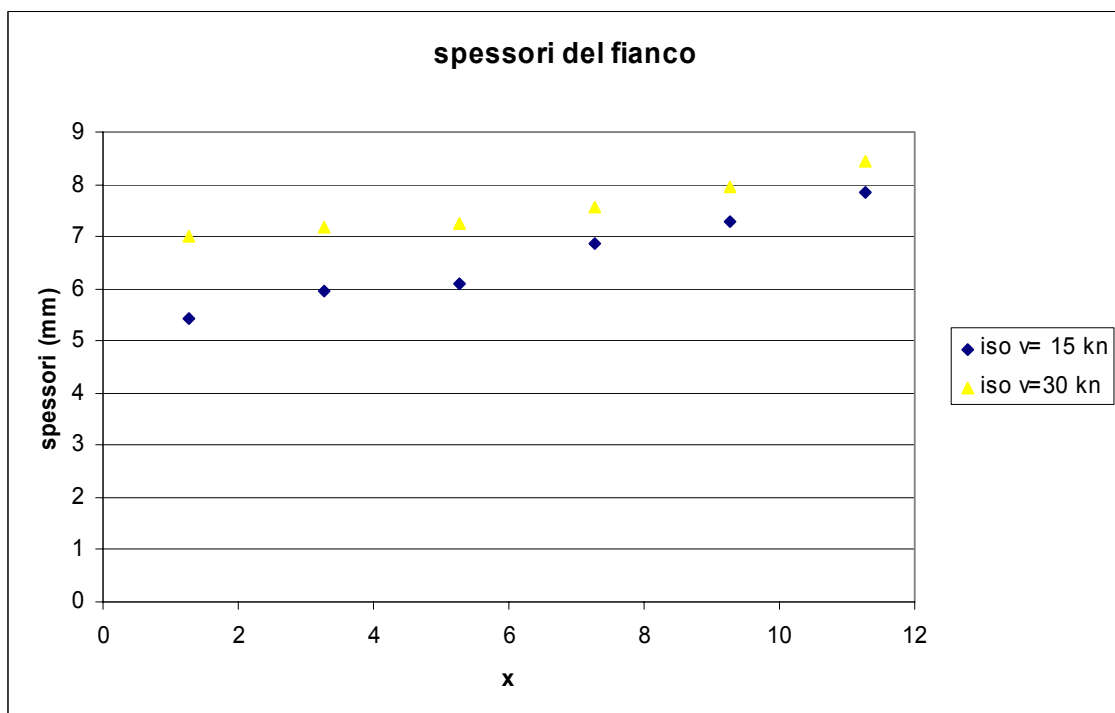


Fig. 6.1.8: Spessori del fianco

Nelle Tabelle 6.1.12, 6.1.13 e 6.1.14 è fornita una comparazione tra i risultati ottenuti:

x	tmax v=15 Kn	tmax v= 30 Kn
1.27	8.21	12.14
3.27	8.93	12.44
5.27	8.96	12.31
7.27	10.06	12.75
9.27	10.20	12.63
11.27	10.90	12.94
13.27	12.55	13.93

Tabella 6.1.12: Spessori del fondo

x	tmax v=15 Kn	tmax v= 30 Kn
1.27	5.44	6.99
3.27	5.95	7.18
5.27	6.08	7.25
7.27	6.85	7.55
9.27	7.28	7.95
11.27	7.86	8.44

Tabella 6.1.13: Spessori del fianco

x	tmax iso
1.27	4.40
3.27	4.40
5.27	4.40
7.27	4.40
9.27	4.40
11.27	4.40

Tabella 6.1.14: Spessori del ponte

6.2 LA RESISTENZA AL MOTO: LE IMBARCAZIONI PLANANTI ED IL MODELLO DI SAVITSKY

Nell'ambito delle teorie progettuali di quotidiana applicazione della pratica professionale quella che meglio si presta essere utilizzata per lo sviluppo del modulo di resistenza idrodinamica di una imbarcazione planante in sostentamento idrodinamico è il metodo di Savitsky [30].

Questo metodo parte dallo studio di una lastra piana in sostentamento idrodinamico giunge al calcolo della resistenza di una imbarcazione estendendo i risultati ottenuti ad una lastra a V e quindi in ultima analisi ad una carena monoedrica.

In una prima analisi sulla lastra piana Savitsky evidenzia che, durante il moto in sostentamento idrodinamico, con un angolo d'assetto τ , si verifica una risalita d'acqua nella zona anteriore della stessa. Tale risalita comporta una variazione della lunghezza bagnata e quindi della superficie bagnata in corsa, che non è più identificabile con la lunghezza bagnata di una lastra semplicemente inclinata di un angolo τ rispetto alla superficie indisturbata, ma che ai fini dello studio della resistenza idrodinamica di una carena planante viene definita come quella porzione di superficie bagnata su cui agiscono le pressioni dinamiche e viene identificata geometricamente come l'area posta dietro una linea ortogonale al fondo della lastra e tangente alla curva che delimita la zona di risalita degli spruzzi nella parte posteriore della lastra (in Figura 6.2.1 linee rosse e blu), tale linea è detta "stagnation line". Per piccoli angoli di assetto questa linea coincide con la "spray root line" (linea verde in Figura 6.2.1) cioè con la curva che delimita l'estensione degli spruzzi nella parte anteriore della lastra

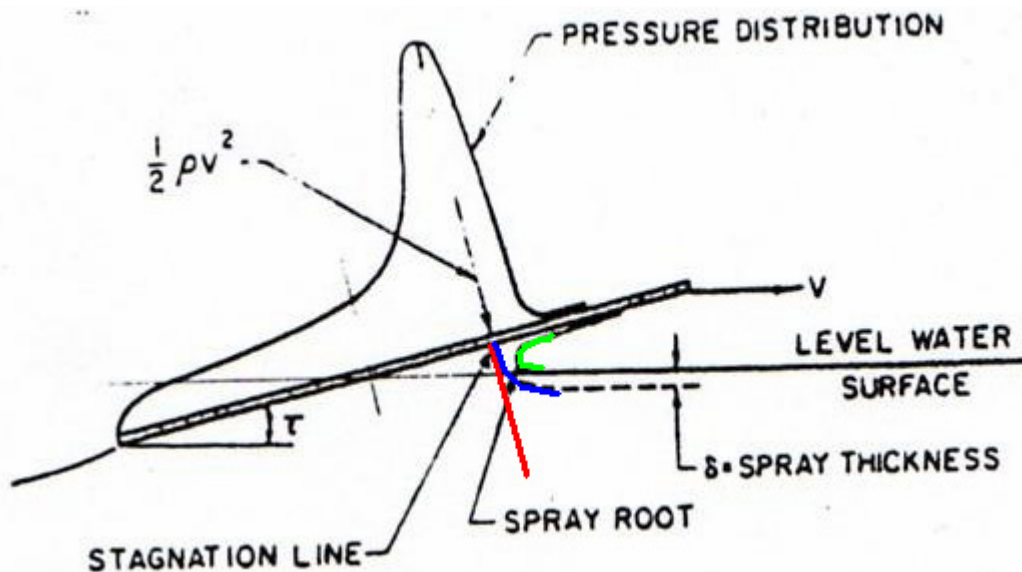


Fig. 6.2.1: Stagnation line e Spray root line

Per il caso sopra considerato gli studi effettuati portano ad affermare che la lunghezza bagnata in corsa dipende solo dall'angolo d'assetto, ne consegue che esiste una relazione di correlazione diretta tra la lunghezza bagnata di superficie indisturbata e quella in corsa.

Per una superficie planante a V l'intersezione tra il fondo e la superficie indisturbata è detta da due linee inclinate (O-C in Figura 6.2.2) a prua di questa si estende nella zona caratterizzata da spruzzi di risalita il cui limite è definito dalla una "spray root line" anch'essa inclinata (O-B in Figura 6.2.2).

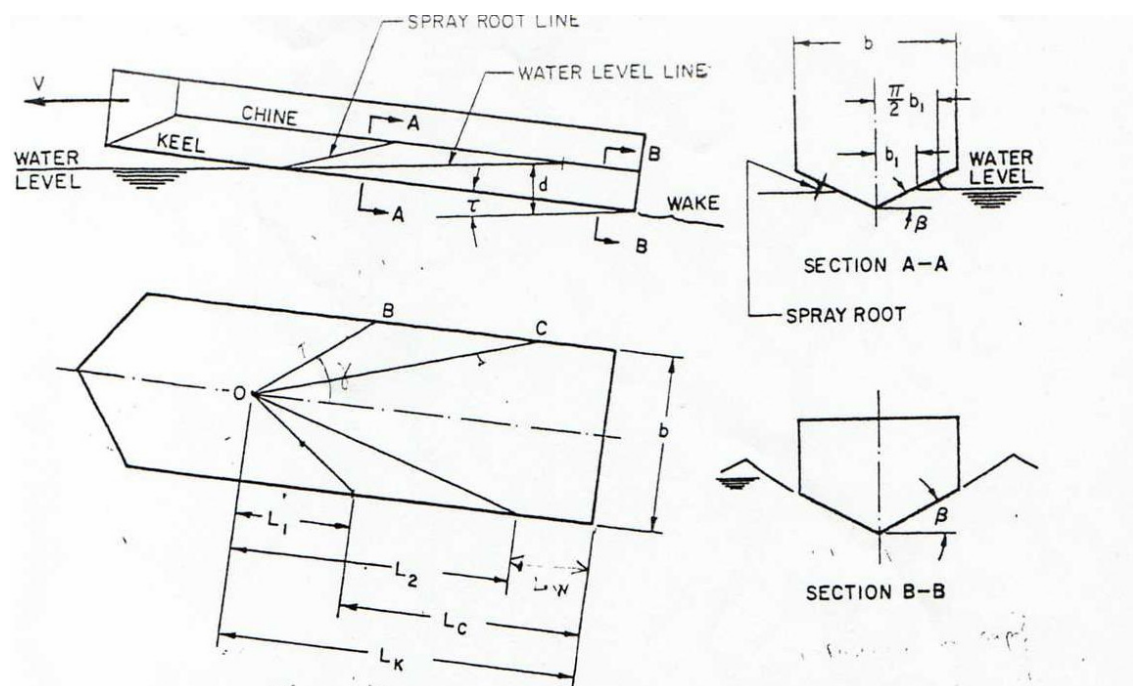


Fig. 6.2.2: Intersezione tra il fondo e la superficie indisturbata

Da ciò ne segue che la lunghezza bagnata in corsa di una imbarcazione planante con carena a V monoedrica è una lunghezza media tra la lunghezza bagnata in chiglia L_k ed una lunghezza bagnata dello spigolo L_c , ovvero:

$$\lambda = \frac{L_k + L_c}{2b} = \frac{\frac{d}{\sin \tau} - \frac{b \tan \beta}{2\pi \tan \tau}}{b} \quad (6.2.1)$$

avendo indicato con λ la lunghezza media bagnata in corsa adimensionalizzata alla larghezza tra gli spigoli b . Le restanti grandezze assumono il significato mostrato in figura 6.2.2 ed individuano la dipendenza della lunghezza bagnata in corsa da parametri geometrici dimensionali caratterizzanti la carena a V e da parametri idrodinamici quale è l'angolo di assetto in corsa τ .

Studi sperimentali hanno evidenziato che tale relazione vale per qualsiasi β e τ quando il coefficienti di velocità C_v soddisfa la seguente relazione:

$$C_v = V/(gb)^{1/2} > 2 \quad (6.2.2)$$

In queste condizioni l'area bagnata in corsa si divide in due regioni dette "pressure area" e "spray area", mentre la prima contribuisce al sostentamento idrodinamico la seconda non dà apporto al sostentamento ma solo alla resistenza all'avanzamento, Figura 6.2.3:

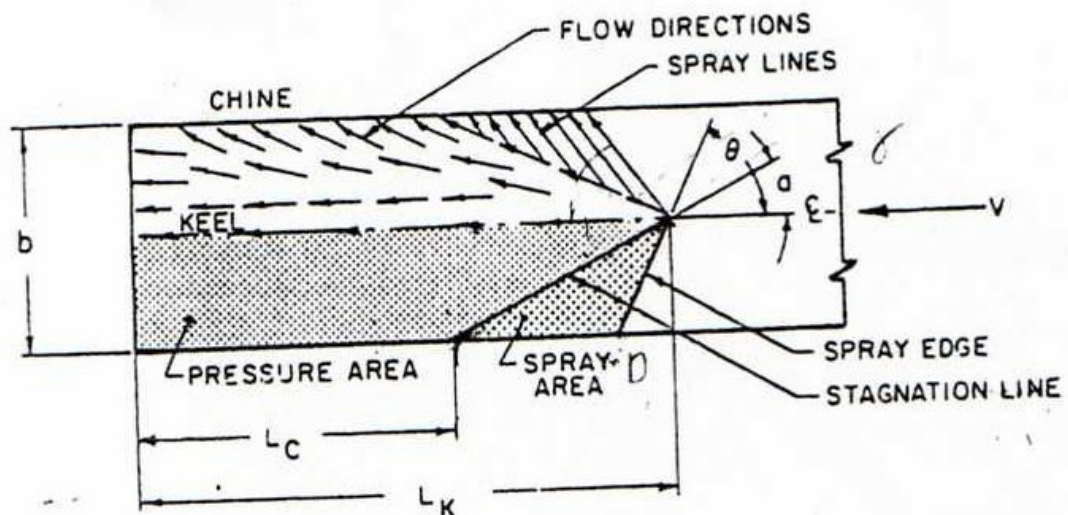


Fig.6.2.3: Pressure area e Spray area

Un'analisi sul sostentamento di una lastra piana in movimento in acqua porta a definire la relazione esistente tra velocità, lunghezza bagnata in corsa, angolo di assetto in corsa e coefficiente di portanza attraverso la seguente:

$$C_{L_o} = \tau^{1.1} \left(0.0120 \lambda^{1/2} + \frac{0.0055 \lambda^{5/2}}{C_v^2} \right) \quad (6.2.3)$$

Valida nell'ambito dei seguenti limiti:

$$0.60 < C_v < 13.00$$

$$2^\circ \leq \tau \leq 13^\circ$$

$$\lambda \leq 4$$

Per un dato angolo di assetto ed una data lunghezza bagnata in corsa, l'effetto dell'incremento dell'angolo di rialzamento del fondo β è una riduzione del sostentamento idrodinamico. Per una carena a V si avrà quindi la seguente relazione

$$C_{L_\beta} = C_{L_o} - 0.0065 \beta C_{L_o}^{0.60} \quad (6.2.4)$$

riportata graficamente in Figura 6.2.4:

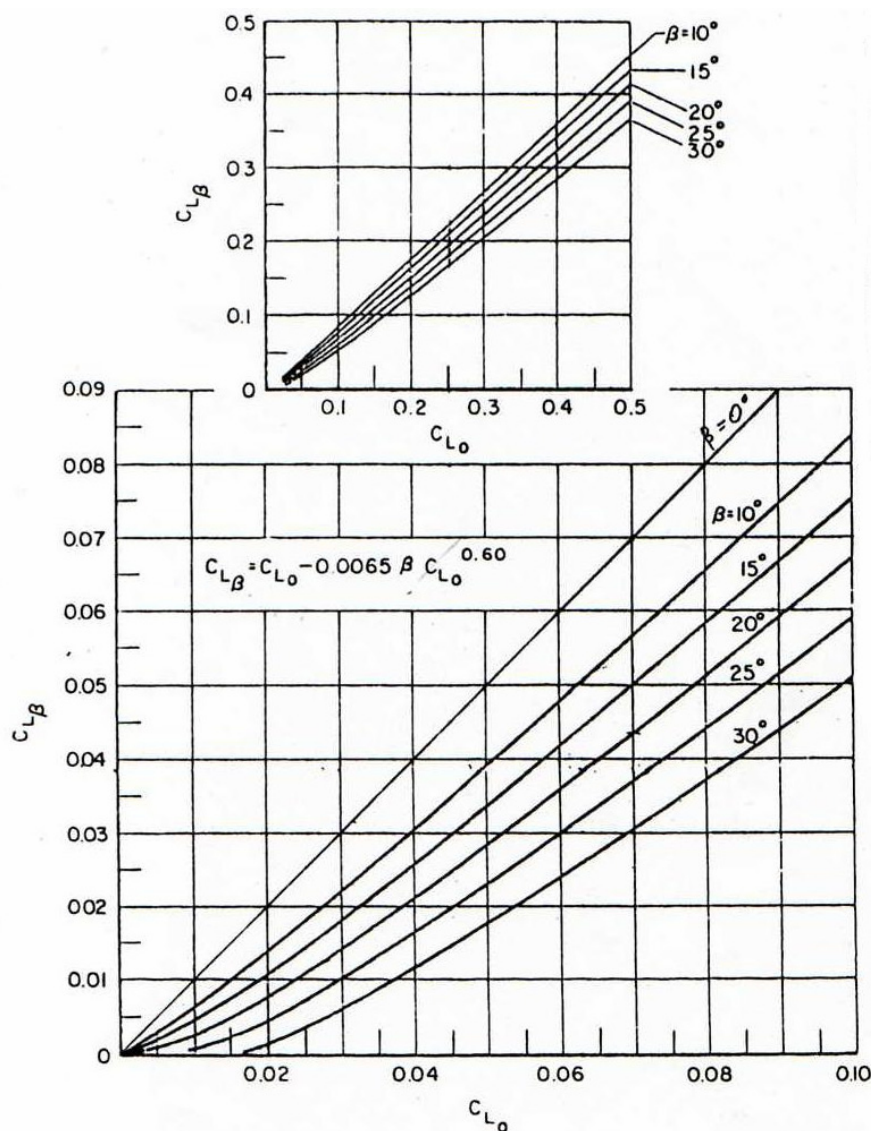


Fig. 6.2.4: Coefficiente di lift per angolo di rialzamento del fondo β

Dal grafico precedente si evince che a parità di angolo di assetto in corsa e lunghezza bagnata il sostentamento idrodinamico diminuisce al crescere dell'angolo di rialzamento del fondo.

La resistenza totale per una superficie planante è composta dalla resistenza di pressione sviluppata dalla pressione agente normalmente al fondo nella zona denominata "pressure area" e dalla resistenza viscosa agente tangenzialmente al fondo sia nella "pressure area" che nella "spray area", oltre che ovviamente la resistenza viscosa aggiunta che si crea se vi è una parte del fianco bagnata.

La resistenza idrodinamica totale D è data da:

$$D = \Delta \tan \tau + \frac{\rho V_1^2 C_f \lambda b^2}{2 \cos \beta \cos \tau} \quad (6.2.5)$$

in cui oltre il significato dei simboli già indicati si ritrovano:

Δ = Dislocamento

C_f = Coefficiente di resistenza viscosa dato dalla ITTC '57

V_1 = Velocità media sul fondo data dal sistema di equazioni a):

$$a) \quad \begin{cases} V_1 = V \left(1 - \frac{2p_d}{\rho V^2}\right)^{1/2} \\ p_d = \frac{\Delta}{\lambda b^2 \cos \tau} \\ \Delta = \frac{1}{2} \rho V^2 b^2 C_{L_\beta} \end{cases}$$

Da quanto sopra, segue che il rapporto tra resistenza e dislocamento è dato dalla seguente relazione:

$$\frac{D}{\Delta} = \tan \tau + \frac{\left(\frac{V_1}{V}\right)^2 C_f \lambda}{C_{L_\beta} \cos \tau \cos \beta} \quad (6.2.6)$$

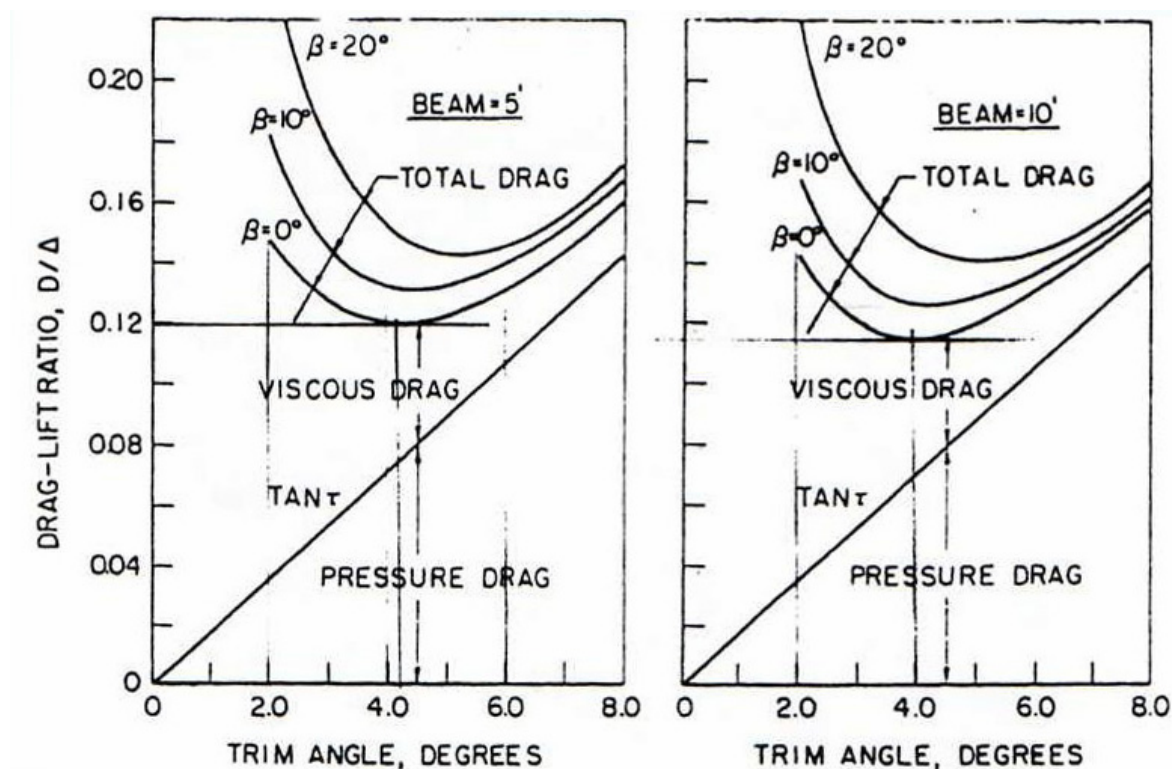


Fig. 6.2.5: variazione del rapporto resistenza dislocamento

A titolo di esempio la Figura 6.2.5 riporta la variazione del rapporto resistenza dislocamento per due modelli rispettivamente di 5 e 10 piedi in funzione dell'angolo di rialzamento del fondo e dell'angolo di assetto.

Si può notare che per ogni ad ogni angolo di rialzamento del fondo esiste un solo valore di angolo di assetto ottimale che minimizza il rapporto tra resistenza e dislocamento.

La posizione longitudinale del centro di pressione dallo specchio di poppa adimensionalizzata rispetto alla lunghezza media bagnata in corsa è data da:

$$C_p = \frac{l_p}{\lambda b} = 0.75 - \frac{1}{5.21 \frac{C_v^2}{\lambda^2} + 2.39} \quad (6.2.7)$$

Al fine di meglio comprendere l'utilità di un approccio MADM alla progettazione di imbarcazioni plananti di seguito verranno espone alcune considerazioni circa l'influenza dei parametri geometrici d'influenza su quanto sopra esposto.

Per un dato angolo di assetto in corsa e superficie bagnata media, l'effetto dell'incremento di angolo di assetto aumenta il lift sull'imbarcazione mentre l'incremento dell'angolo di rialzamento del fondo lo riduce. Dalle equazioni 6.2.3 e 6.2.4 si può notare infatti che il coefficiente $C_{L\beta}$ è direttamente proporzionale a β ed inversamente proporzionale a τ .

Per ogni angolo di rialzamento del fondo esiste un solo angolo d'assetto ottimale ai fini della riduzione della resistenza, piccoli incrementi dell'angolo di assetto aumentano il lift ma aumentano anche la resistenza, viceversa piccole riduzioni dell'angolo d'assetto rispetto all'ottimale provocano riduzioni nel lift ed notevoli incrementi nella resistenza. Ancora il rapporto tra la resistenza idrodinamica ed il dislocamento incrementa rapidamente per valori di C_v pari circa ad 1 qualsiasi sia l'angolo d'assetto e diventa costante per C_v maggiore di 1 qualsiasi sia la combinazione di valori assunti dalla velocità e dalla lunghezza bagnata in corsa λ . Ovviamente il rapporto tra resistenza e dislocamento sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà la lunghezza dell'imbarcazione dipendendo dal coefficiente d'attrito C_f che a sua volta dipende dalle dimensioni dell'imbarcazione attraverso il numero di Reynolds.

6.2.1 Il modulo idrodinamico

Dalle brevi considerazioni sopra esposte è facile immaginarsi che nella progettazione di una imbarcazione planante, così come in altre molteplici applicazioni in campo navale, spesso le ipotesi progettuali fatte portano a risultati in conflitto tra loro che necessitano di indagini dispendiose in termini di tempo per l'ottimizzazione del progetto.

Ciò nonostante è bene rimarcare che indipendentemente dal risultato cui si giunge ad un determinato momento della ricerca della soluzione ottimale, sia che si parli di soluzioni che conducano ad un effettivo miglioramento o di soluzioni peggiorative rispetto alle ipotesi di partenza, comunque i parametri e le variabili coinvolte nel processo decisionale rimangono invariate nell'ambito del modulo ma soprattutto rimangono invariate ed uguali a quelle su cui si fonda anche il modulo strutturale precedentemente descritto.

In particolare definiti i parametri geometrici dell'imbarcazione che rimangono gli stessi di quelli citati nel precedente capitolo con l'aggiunta della posizione longitudinale e verticale del centro di gravità e l'angolo ϵ dell'inclinazione dell'asse dell'elica rispetto al fondo:

Caratteristiche dell'imbarcazione							
delta	VCG	LCG	ϵ	v	b	bwl	beta

Tabella 6.2.1: Caratteristiche principali dell'imbarcazione

e, a seguito di reiterazioni di calcoli, si giunge alla determinazione dell'angolo d'assetto finale ed al valore di resistenza della carena nuda che è legato alle condizioni considerate.

τ_{finale}	drag
------------------------	-------------

Tabella 6.2.2: Risultati del metodo di Savitsky

Oltre ai sopracitati risultati, il metodo fornisce una serie di elementi fisici geometrici caratteristici di imbarcazioni che navigano in regime planante.

λ_{finale}	L kell	L chine	Draff transom	Cl_{β}	C_l	C_p	L_p
---------------------------	---------------	----------------	----------------------	--------------	-------	-------	-------

Tabella 6.2.3: Ulteriori risultati del metodo di Savitsky

Ad onor del vero vi è da dire che il metodo di Savitsky, diventato ormai il principale e più diffuso strumento di calcolo della resistenza di carena nuda e d'angolo d'assetto in corsa nella pratica professionale per questo tipo di imbarcazione, è nel suo originario concepimento piuttosto laborioso se applicato manualmente. Tale sua laboriosità lo rende apparentemente inadatto ad essere eletto quale modulo idrodinamico di un processo decisionale MADM, necessitando quest'ultimo di eseguire svariati tentativi necessari a definire le condizioni di navigazione per le diverse ipotesi progettuali che ricorrono nell'ottimizzazione di un progetto navale. In realtà la larga diffusione di cui godono oggi personal computer in grado di eseguire innumerevoli iterazioni di calcolo in breve tempo consente di impostare criteri di calcolo automatici che ripercorrendo dei cicli prestabiliti forniscono la resistenza e l'angolo d'assetto per qualsivoglia incremento di variabili nel range di applicabilità del metodo stesso.

In "Hydrodynamic design model for planing craft" [9] è stata appunto approntata anche per il modulo di resistenza una routine di calcolo, meglio descritta in un seguente capitolo, che consente di ricercare la soluzione a problemi a cui sono stati fatti variare alternativamente tutti (velocità, larghezza, angolo di rialzamento del fondo etc.) i parametri coinvolti nel processo decisionale

I valori così ottenuti forniscono, quindi, diverse ipotesi di assetto di dimensionamento geometrico su cui basare l'implementazione della procedura proposta da Ma, Fan e Huang [13].

6.3 LA RESISTENZA AGGIUNTA E LA TENUTA AL MARE: FORMULE DI SAVISKY E BROWN E DEL LLOYD REGISTER

Nel precedente capitolo sono descritte le modalità di calcolo della resistenza di carena nuda sulla base del modello di Savitsky [30], in particolare si è rimarcato come i parametri e le variabili coinvolte nel processo decisionale siano quelle su cui si basa la progettazione in una fase di basic design indipendentemente dall'approccio metodologico utilizzato.

Ma se lo sviluppo del modello di Savitsky [30] può a ragione essere considerato come l'approccio principe per la rappresentazione del modulo di progetto idrodinamico, perché di ampia diffusione professionale, certamente non è sufficiente a descrivere in toto il comportamento della carena nuda in ogni condizione.

In particolare la resistenza idrodinamica all'avanzamento ottenuta è la resistenza in acqua calma.

Se l'obiettivo di un approccio MADM è quello di fornire una ranking list di progetti fattibili tra cui scegliere quello ottimale è necessario che i moduli di progetto soprattutto in una fase di basic design portino in conto gli aspetti che condizioneranno la buona riuscita del progetto nell'ambito del profilo di missione definito.

In tale ottica raramente un'imbarcazioni, di qualunque dimensione essa sia e qualunque sia il regime di sostentamento in cui navighi, si troverà ad affrontare condizioni di acque calma, da ciò nasce l'esigenza di includere nei moduli di progetto la rappresentazione matematica di un fenomeno fisico che è normale incontrare in navigazione e cioè il comportamento in condizioni di mare mosso.

Tale condizione di navigazione oltre ad ovviamente incrementare la resistenza al moto dell'imbarcazione provoca un altro effetto che non viene risentito direttamente della nave intesa come mezzo ma da chi opera sulla nave stessa, influenza cioè le condizioni di operabilità attraverso le accelerazioni subite dall'equipaggio.

Una considerazione di tal genere potrebbe essere considerata sensata solo se il target progettuale è quello di una nave da lavoro in cui indipendentemente dalla condizioni meteo l'equipaggio è costretto ad operare per dovere. Tale approccio risulta però essere fuorviante in considerazione del fatto che il profilo di missione di una imbarcazione planante da diporto non può prescindere, per ovvie ragioni di mercato, dal benessere di

chi vi naviga a bordo, non a caso tale tipologia di imbarcazioni viene definita nel gergo anglosassone “pleasure boat”. Ne segue che cambierà il livello e le condizioni massime considerate come accettabili, ma non il concetto stesso. In altre parole cambieranno i limiti di applicabilità del modulo di progetto ma non il modulo stesso.

6.3.1 Il metodo di Savisky e Brown

Il più completo ed esaustivo lavoro scientifico sulla resistenza aggiunta e sulla tenuta al mare di carene in sostentamento idrodinamico è quello pubblicato da Frisma [15]. In tale lavoro l'autore sulla base di una serie di test effettuati in onde irregolari su tre tipologie di carene monoedriche con angoli di rialzamento del fondo di 10° , 20° e 30° e valori di L/b di 4 e 5:

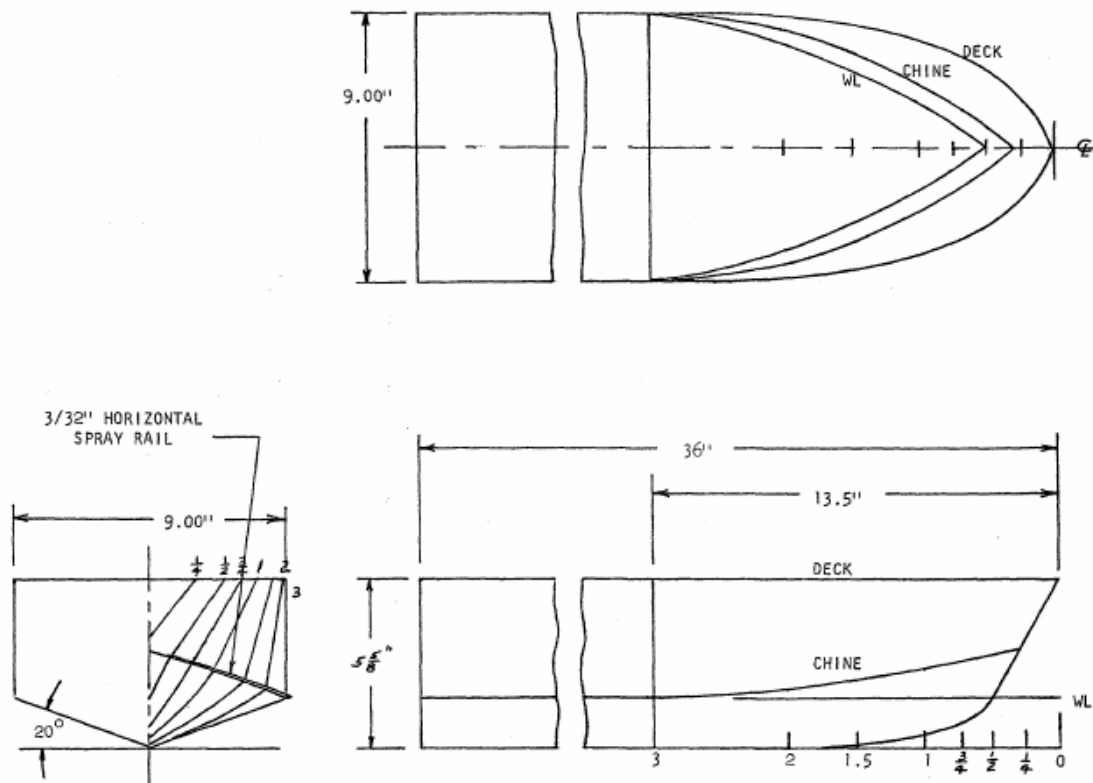


Fig. 6.3.1 Linee d'acqua di una carena prismatica con prua tradizionale

fornisce i risultati ottenuti in termini di resistenza aggiunta e accelerazione in forma di diagrammi in funzione dell'altezza d'onda significativa considerata e della velocità. Un esempio dei risultati forniti è riportato di seguito nelle Figure 6.3.2 e 6.3.3

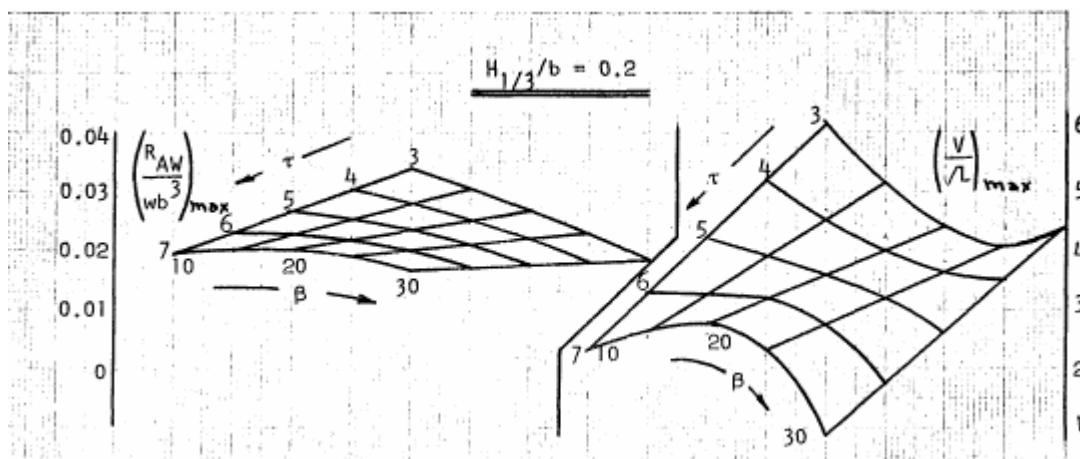


Fig. 6.3.2: Massima resistenza aggiunta per $C_D = 0,60$ e $L/b = 5$

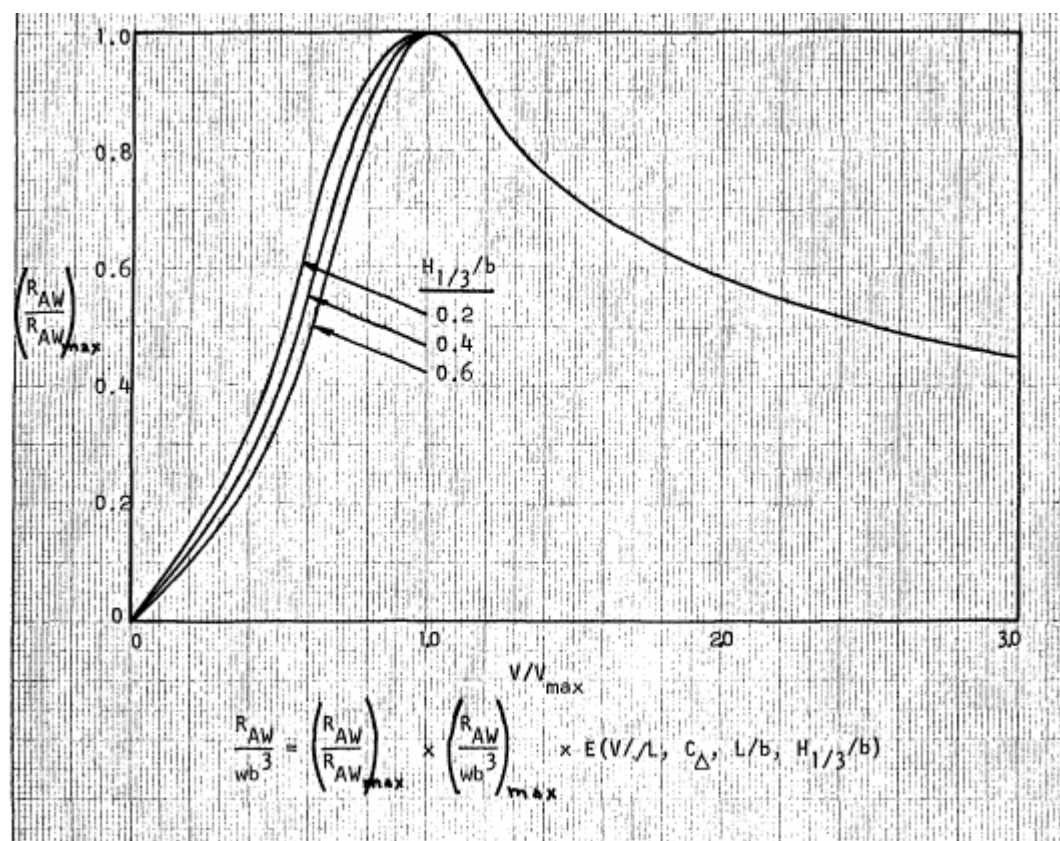


Fig. 6.3.3: Resistenza aggiunta plottata per $C_D = 0,60$ e $L/b = 5$

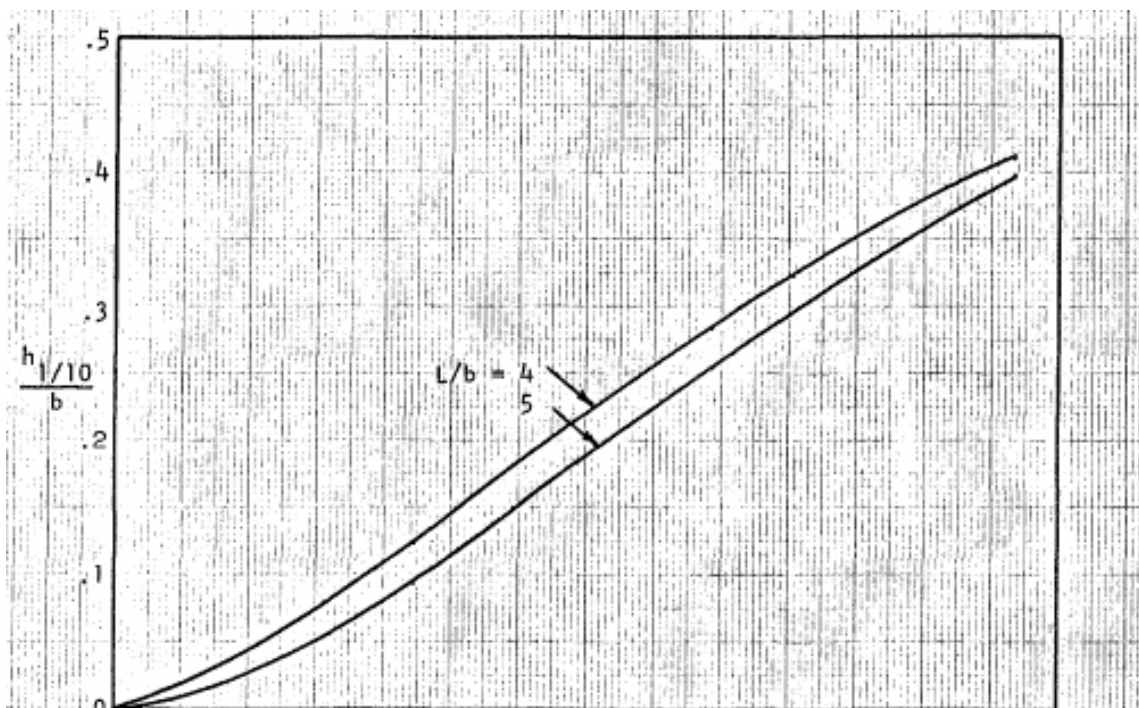


Fig. 6.3.4: $h_{1/10}/b$ per valori di $V/\sqrt{L} = 2$ ($\tau = 4^\circ$, all C_d , all β)

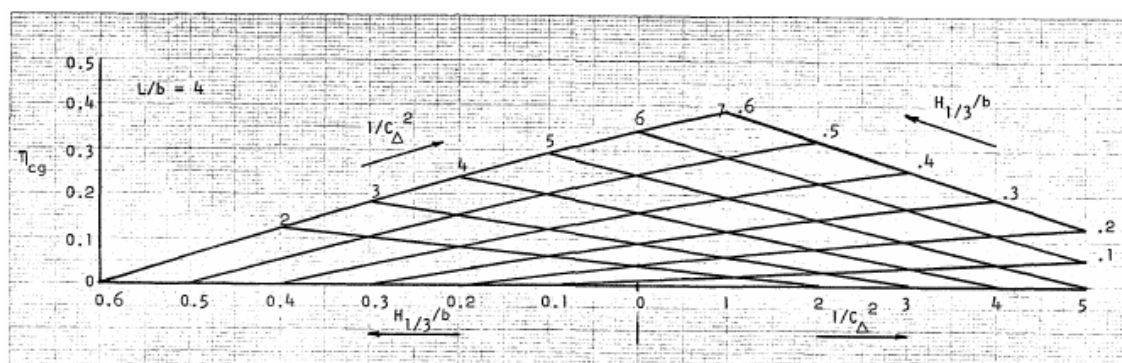


Fig. 6.3.5 Average "CG" acceleration at $V/\sqrt{L} = 2$ ($\tau = 4^\circ$, $\beta = 20^\circ$)

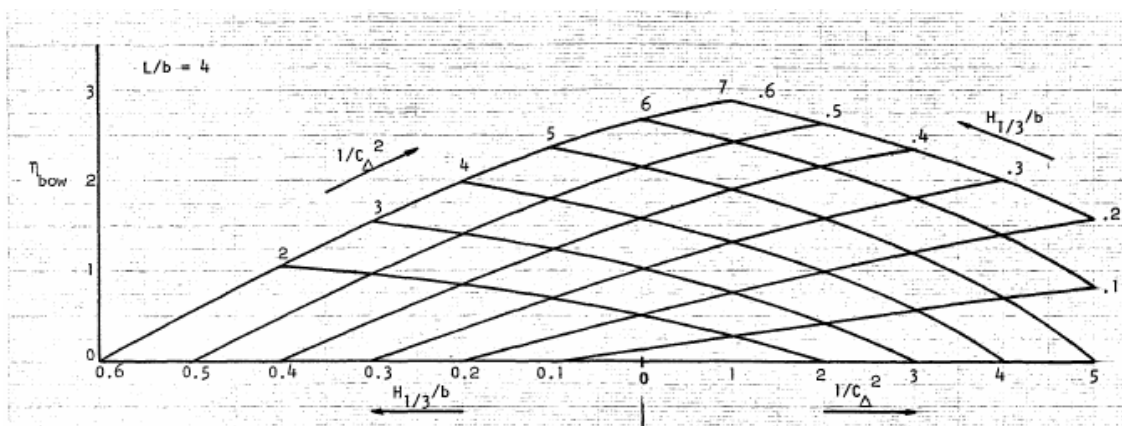


Fig. 6.3.6 Average "CG" acceleration at $V/\sqrt{L} = 4$ ($\tau = 4^\circ$, $\beta = 20^\circ$)

Tale lavoro se pur di indubbia validità scientifico ha però lo svantaggio per ciò che riguarda le applicazioni pratiche professionali di essere di difficile implementazione come modulo di progetto attraverso l'utilizzo di un semplice personal computer poiché non arriva a definire una relazione mutliparametrica tra le grandezze coinvolte nel fenomeno fisico.

Savitsky e Brown [31] sulla base dei propri studi e unitamente al lavoro svolto da Frisma [16] forniscono una serie di relazioni empiriche che legano i parametri coinvolti con la resistenza aggiunta e l'accelerazione media di impatto in corrispondenza della prua e del baricentro della nave in cui range di applicabilità di eseguo riportato in Tabella 6.3.1:

Range di applicabilità	
Parametri	Range
Displ./ $(0.1L)^3$	100-250
L/b	3-5
Angolo di rialzamento del fondo, gradi	3-7
Angolo di assetto in corsa, gradi	10-30
$H_{1/3}/b$	0.2-0.7
$V_k/L^{.5}$	2-6

Tabella 6.3.1: Range di applicabilità delle formule di Savisky e Brown

Per tre valori differenti del rapporto V/L pari a 2, 4 e 6 i valori di resistenza aggiunta e di accelerazione sono forniti dalle seguenti:

Resistenza aggiunta per $V_k/L=2$:

$$\frac{R_{AW}}{wb^3} = 56 \times 10^{-6} \left(\frac{H_{1/3}}{b} + 0.5 \right) \frac{(V_k/L)^3}{C_L} + 0.0043(\tau - 4) \quad (6.3.1)$$

Resistenza aggiunta per $V_k/L=4$:

$$\frac{R_{AW}}{\Delta} = \frac{0.3H_{1/3}/b}{1+2H_{1/3}/b} \left(1.76 - \frac{1}{\beta} - 2 \tan^3 \beta \right) \quad (6.3.2)$$

Resistenza aggiunta per $V_k/L=6$:

$$\frac{R_{AW}}{\rho b^3} = \frac{0.158 H_k / b}{1 + (H_k / b) [-0.12\beta - 21C_A (5.6 - \frac{L}{b}) + 7.5(6 - \frac{L}{b})]} \quad (6.3.3)$$

Si noti che la procione la prima delle tre precedenti equazioni fornisce valori che sono indipendenti dall'angolo di rialzamento del fondo, la seconda da rapporto L/b e la terza dall'angolo di assetto in corsa.

Accelerazione media di impatto in corrispondenza di G in unità g:

$$\eta_{cg} = 0.0104 \left(\frac{H_k}{b} + 0.084 \right) \frac{\tau \left(\frac{5}{3} - \beta \right) (V_k / \sqrt{g})^2 \frac{L/b}{C_A}}{1} \quad (6.3.4)$$

Accelerazione media di impatto in corrispondenza della prua in unità g:

$$\eta_{bow} = \eta_{cg} \left[1 + \frac{3.8(L/b - 2.25)}{V_k / \sqrt{g}} \right] \quad (6.3.5)$$

Le equazioni per il calcolo delle accelerazioni proposte da Savitsky e Brown [31], che tra l'altro risultano valide solo per il calcolo delle accelerazioni medie, a seguito di ulteriori ricerche furono corrette dal Lloyd's Register [27] nelle seguenti equazioni:

$$a_{1/100} = 1.5 \cdot \tau \cdot L_1 \cdot (H_1 + 0.084) \cdot (5 - 0.1 \cdot \beta) \cdot \Gamma^2 \cdot 10^{-3} \quad (6.3.6)$$

In cui:

$a_{1/100}$ è la media del centesimo più alto delle accelerazioni in corrispondenza del baricentro G della nave:

$$g = 9.80665 \text{ (ms}^{-2}\text{)}$$

$$\Gamma = \frac{V_{MAX}}{\sqrt{L_{WL}}} \quad (6.3.7)$$

$$L_1 = \frac{L_{WL}}{B_w} \cdot \frac{B_c^3}{\Delta} \quad (6.3.8)$$

ed i cui limiti di applicabilità sono dati da:

$$\frac{L_{WL}}{B_w} \geq 3$$

$$H_1 = \frac{H_{1/3}}{B_w} \geq 0.2$$

$$\beta \leq 30^\circ \text{ (in corrispondenza di LCG)}$$

$$\tau \geq 3^\circ$$

L'accelerazione media in corrispondenza di G essendo legata ad $a_{1/N}$ dalla seguente relazione:

$$a_{1/N} = a_{Media} \cdot (1 + \ln N)$$

6.3.2 Il modulo di resistenza aggiunta e tenuta al mare

Si potrebbero anche qui fare le medesime considerazione effettuate nel capitolo precedente sulla univocità dei parametri coinvolti e sulla conflittualità degli stessi evidenziata dagli attributi di output dei moduli, ma a questo punto del presente lavori sarebbe ridondante per il lettore. Basti dire che se le variabili di input del problema sono le i medesimi definiti per il modulo idrodinamico della Tabella 6.3.2:

Caratteristiche dell'imbarcazione							
delta	VCG	LCG	ϵ	v	b	bwl	beta

Tabella 6.3.2: Caratteristiche dell'imbarcazione per l'applicazione del modulo di resistenza aggiunta e tenuta al mare

A questi va aggiunto uno dei valori di output del modulo stesso e cioè l'angolo di assetto in corsa τ_{finale} .

Il risultato finale sono i valori di resistenza aggiunta R_{aw} per un determinato stato di mare caratterizzato attraverso l'altezza d'onda significativa $H_{1/3}$, i valori medi di accelerazione $a_{1/100}$, a_{Media} , $a_{1/N}$ essendo N un valore di riferimento definito dell'utente e corrispondente alla media delle N-esime accelerazioni più elevate cui è soggetta l'imbarcazione in date condizioni di mare.

R_{aw} (N)	$a_{1/100}$ (g)	a_{Media} (g)	$a_{1/N}$ (g)
--------------	-----------------	-----------------	---------------

Tabella 6.3.3: Valori di output del modulo di resistenza aggiunta e tenuta al mare

Vi è da notare che sia le formule per il calcolo della resistenza aggiunta fornite da Savisky e Brown [31] sia i valori di accelerazione dati dalle formule proposte dal Lloyd

Register [27] non sono esenti da errori in particolare le prime a seconda della velocità danno un errore compreso tra il 10% ed il 20% mentre le accelerazioni forniscono risultati con un margine di errore del 15%. In un processo decisione MADM finalizzato al basic design tale aspetto non rappresenta un problema in quanto obbiettivo del metodo non è quello di fornire valori esatti ma valori comparativi per i progetti fattibili. In tale ottica essendo gli errori forniti costanti con i parametri caratterizzanti le dimensioni base delle navi investigate la logica comparativa per i singoli progetti proposti rimarrà valida.

Anche per il modulo di resistenza aggiunta e tenuta la mare è stata elaborata una routine di calcolo, meglio descritta in un seguente capitolo e proposto in “Hydrodynamic design model for planing craft” [9], che consente di ricercare la soluzione a problemi a cui sono stati fatti variare alternativamente tutti (velocità, larghezza, angolo di rialzamento del fondo etc.) i parametri coinvolti nel processo decisionale

I valori così ottenuti forniscono, quindi, diverse ipotesi di assetto di dimensionamento geometrico su cui basare l’implementazione della procedura proposta da Ma, Fan e Huang [13].

7. SVILUPPO DI UN CODICE NUMERICO RELATIVO AL MODELLO DI PROGETTO

7.1 ALGORITMI E FOGLI DI CALCOLO

Come già più volte ripetuto, è possibile pensare ad un futuro progettuale più snello ed immediato nella scelta ottimizzata della ipotesi iniziali di progetto attraverso una procedura MADM eventualmente integrate con il classico iter a spirale di progetto.

Tale possibilità è legata necessariamente alla possibilità di avere a disposizione uno strumento semplice a fruibile da chiunque si interessi di questo nuovo approccio.

Al fine di ottemperare a questi propositi, ultimo passo del presente lavoro è stato quello di organizzare e definire uno strumento che fosse utilizzabile nella comune pratica professionale al livello di basic design.

Il codice di calcolo sviluppato utilizza, appunto, il vba come linguaggio di programmazione ed offre la possibilità di integrare i risultati forniti dai moduli di progetto precedentemente descritti all'interno della metodologia proposta da Ma, Fan e Huang [13], ovvero si presta altresì ad essere utilizzato per qualsivoglia problema progettuale a patto di aver precedentemente schematizzato il problema oggetto di studio attraverso opportuni moduli.

Nella fattispecie del presente lavoro, i moduli di resistenza idrodinamica, di seakeeping, di calcolo strutturale sono stati sviluppati anch'essi attraverso delle vba routine al fine di renderli perfettamente compatibili con quanto proposto per la procedura MADM utilizzata.

L'insieme dei moduli e della procedura MADM forniscono uno strumento di semplice applicazione per lo sviluppo e la ricerca di alternative progettuali ottimizzate rispetto ad un problema di progetto di una imbarcazione planante.

Tale approccio già utilizzato per i soli moduli di resistenza idrodinamica e seakeeping in *"Hydrodynamic design model for planning craft"* [9] è stato integrato, al fine di una maggiore completezza di valutazione con il modulo di calcolo strutturale.

La routine di calcolo del modulo idrodinamico si basa sul metodo di Savitsky [30] per calcolo della resistenza idrodinamica di carene monoedriche plananti in regime di sostentamento idrodinamico ed è strutturata in maniera che sia possibile far variare nella generazione dei dati di output delle alternative fattibili quattro diverse variabili e cioè: velocità, larghezza, angolo di rialzamento del fondo β o dislocamento, Figura 7.1.1:

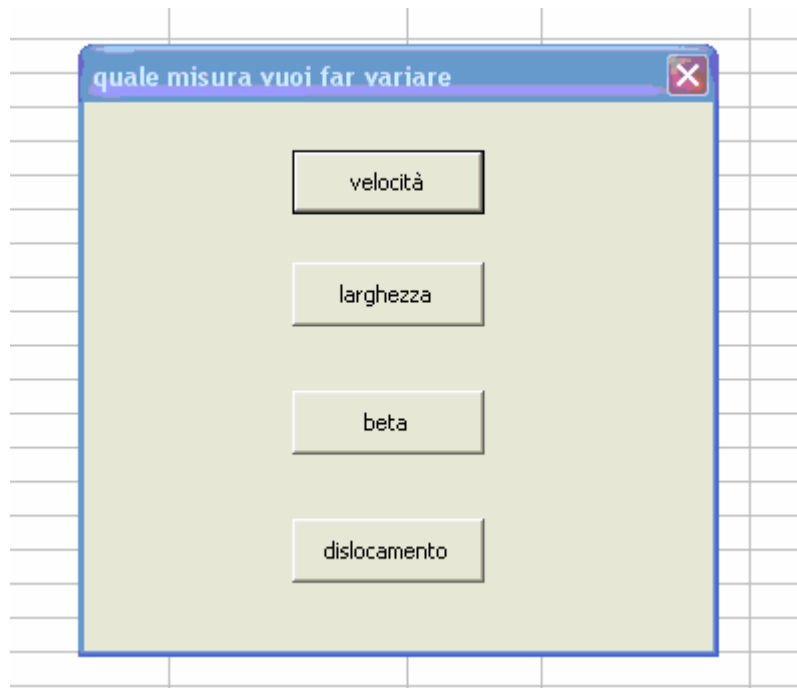


Fig. 7.1.1: Messagebox di definizione variabile rispetto a cui ottimizzare

Una volta scelta la variabile, nell'esempio di seguito riportato angolo di rialzamento del fondo β , dalla routine vengono richiesti i principali dati dell'imbarcazione da ottimizzare che il sistema setterà come parametri Tabella 7.1.1:

Caratteristiche dei imbarcazione							
delta	VCG	LCG	ϵ	v	b	bwl	f

Tabella 7.1.1: Parametri principali dell'imbarcazione

Il valore di ogni parametro verrà introdotto attraverso un input box Figura 7.1.2 che si interfaccia direttamente con il codice di calcolo provvedendo a fissare il valore definito dall'utente ed a riportarlo sul foglio di calcolo.

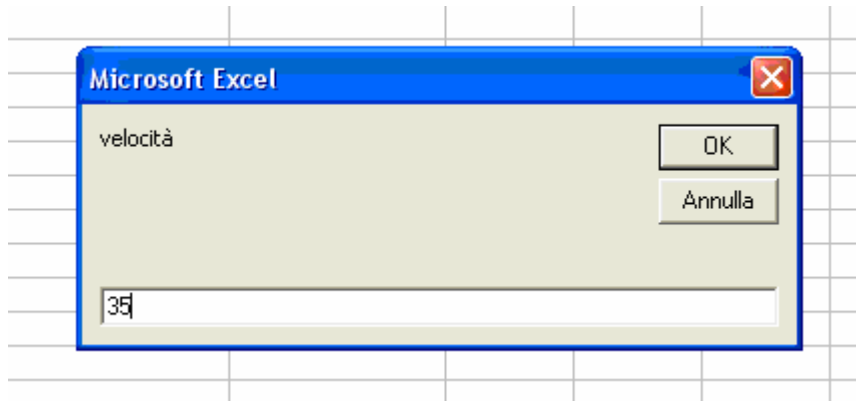


Fig. 7.1.2: Finestra di Input per il parametro velocità

Sempre attraverso delle input box verrà richiesti ed inseriti i limiti minimo e massimo della variabile prescelta Figura 7.1.3 e Figura 7.1.4

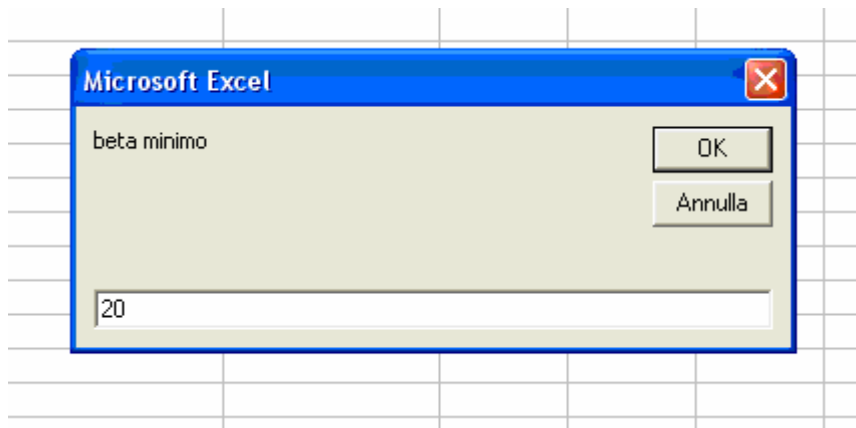


Fig. 7.1.3: Finestra di Input per la definizione dei limiti

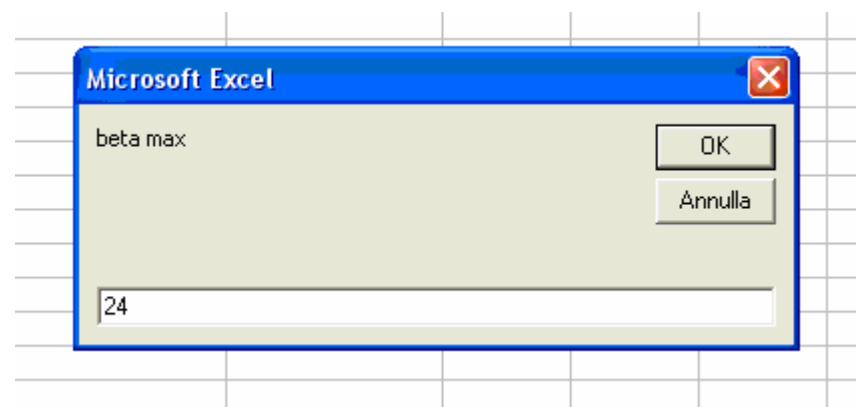


Fig. 7.1.4: Finestra di Input per la definizione dei limiti

ed il passo di integrazione della stessa Figura 7.1.5

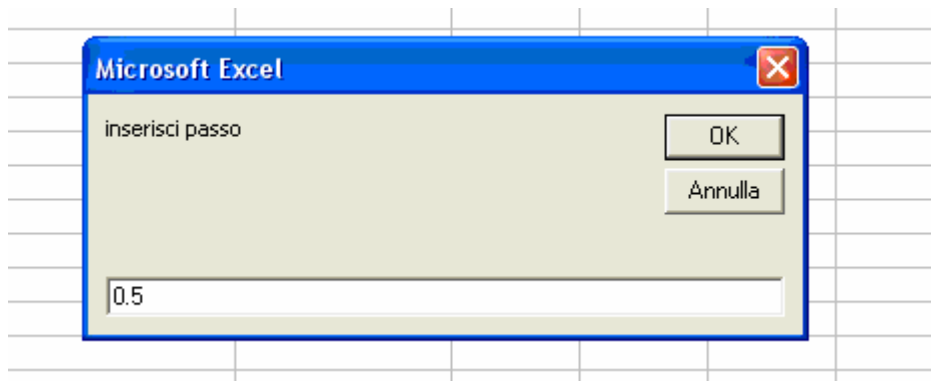


Fig. 7.1.5: Definizione del passo di calcolo per il modulo

Al modulo idrodinamico è integrato il modulo di seakeeping descritto nel capitolo 6.3, il sistema di introduzione dati è lo stesso di quello descritto precedentemente. Il calcolo della resistenza aggiunta e delle accelerazioni in corrispondenza del baricentro dell'imbarcazione viene effettuato utilizzando i principali dati dell'imbarcazione richiesti dal modulo idrodinamico con l'aggiunta dei parametri necessari a caratterizzare lo stai di mare in cui si suppone l'imbarcazione navighi e cioè l'altezza d'onda significativa Figura 7.1.6

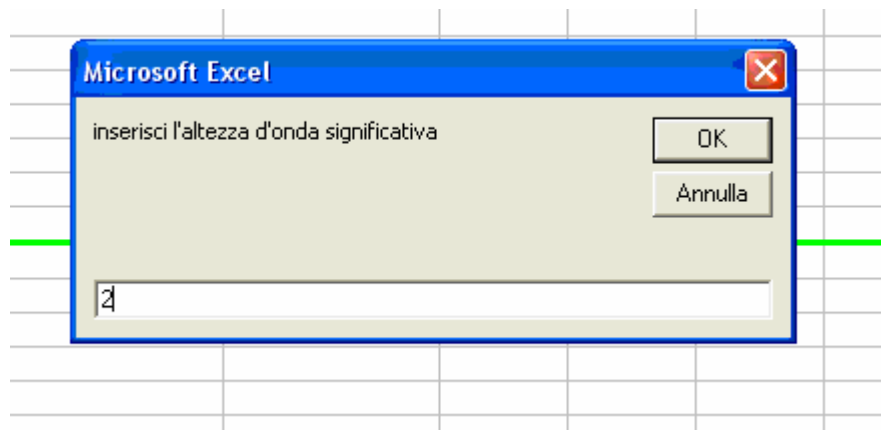


Fig. 7.1.6: Definizione dei parametri di altezza d'onda

ed il valore N relativo alla media delle accelerazioni più alte che si vogliono ottenere dei calcoli come informazione aggiunta Figura 7.1.7

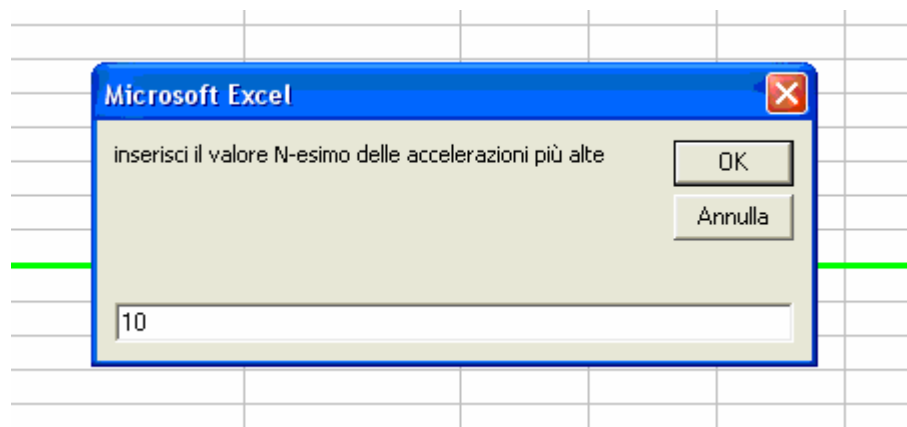


Fig. 7.1.7: Definizione dei parametri di accelerazione

La routine fornirà infine come attributi i valori di resistenza e accelerazione richiesta per il modulo idrodinamico come in Tabella 7.1.2:

τ_{finale}	drag
------------------------	------

Tabella 7.1.2: Attributi del modulo idrodinamico

e di seakeeping assieme, Tabella 7.1.3

R_{aw} (N)	$a_{1/100}$ (g)	a_{Media} (g)	$a_{1/N}$ (g)
--------------	-----------------	------------------------	---------------

Tabella 7.1.3: Attributi del modulo di resistenza aggiunta e di seakeeping

ad una serie di informazioni aggiunte insite nella teoria dei moduli adottati, Tabella 7.1.4:

λ_{finale}	L _{kell}	L _{chine}	D _{raf} transom	Cl_{β}	C_l	C_p	L_p
---------------------------	-------------------	--------------------	--------------------------	--------------	-------	-------	-------

Tabella 7.1.4: Valori di output aggiuntivi dei moduli proposti

Caratteristiche dell'imbarcazione																		
delta (t)	VCG (m)	LCG (m)	epsilon (gr f m)															
	38.00	0.70	6.22	12.00	0.1000													
v (Kn)	b (m)	bwl(m)	beta (gradi)	tau finale (grac drag (l)	lambda finale(m)	L kell(m)	L chine(m)	Draf trans	Cibeta	Cl	Cp	Lp (m)	Raw (l)	Eta 1/100 (Eta media)(g)	Eta 1M(g)			
5	35.00	4.80	4.90	20.01	4.1052	43478.08	1.95	13.24	5.48	0.95	0.10	0.10	0.67	9.36	27815.76	3.36048	0.59953	1.98000
6				20.51	4.1056	43532.94	1.95	13.34	5.38	0.95	0.10	0.10	0.67	9.36	27559.42	3.36079	0.59859	1.98019
7				21.01	4.1060	43589.43	1.95	13.45	5.27	0.96	0.10	0.10	0.67	9.36	27287.43	3.36110	0.59864	1.98037
8				21.51	4.1064	43647.59	1.95	13.55	5.16	0.97	0.10	0.10	0.67	9.36	26999.07	3.36142	0.59870	1.98056
9				22.01	4.1068	43707.44	1.95	13.66	5.05	0.98	0.10	0.10	0.67	9.36	26693.58	3.36175	0.59876	1.98075
10				22.51	4.1072	43769.00	1.95	13.77	4.94	0.99	0.10	0.10	0.67	9.36	26370.19	3.36207	0.59882	1.98095
11				23.01	4.1076	43832.30	1.95	13.87	4.83	0.99	0.10	0.10	0.67	9.35	26028.08	3.36241	0.59888	1.98114
12				23.51	4.1080	43897.37	1.95	13.98	4.72	1.00	0.10	0.10	0.67	9.35	25666.40	3.36274	0.59894	1.98134
13				24.01	4.1084	43964.24	1.95	14.09	4.61	1.01	0.10	0.10	0.67	9.35	25294.27	3.36309	0.60000	1.98154

Microsoft Excel

</

Fig. 7.1.8: Attributi derivanti dall'applicazione del modulo in forma di foglio Excel

resistenza aggiunte, e dei Lloyd's per il calcolo della accelerazioni, su cui i moduli di resistenza e di seakeeping sono sviluppati la routine sopra descritta provvede a valutare la coerenza dei dati di input con quanto richiesto dai sopracitati lavori e in caso riscontri delle difformità da quanto richiesto avvisa l'utente non producendo alcun risultato.

Analoga impostazione si è utilizzata per il modulo di calcolo strutturale.

Quest'ultimo basato su una versione draft della Iso 12215-5 consente il calcolo delle pressione e degli spessori di laminazione per le parti principali di cui un'imbarcazione è composta Figura 7.1.11. Tale passo si rende necessario per coerenza di calcolo con la norma presa a riferimento.

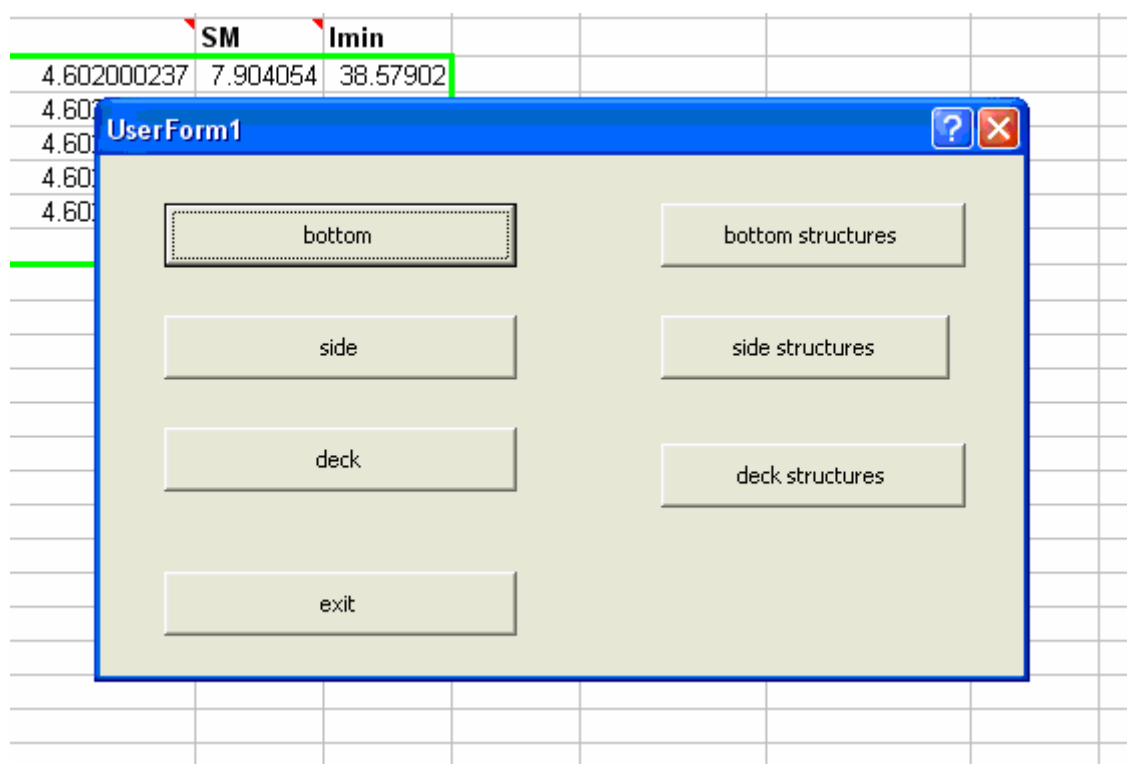


Fig. 7.1.11: Scelta della zona da ottimizzare

Definita la zona di interesse viene richiesto all'utente di definire la tipologia strutturale che si intende utilizzare per la costruzione Figura 7.1.12

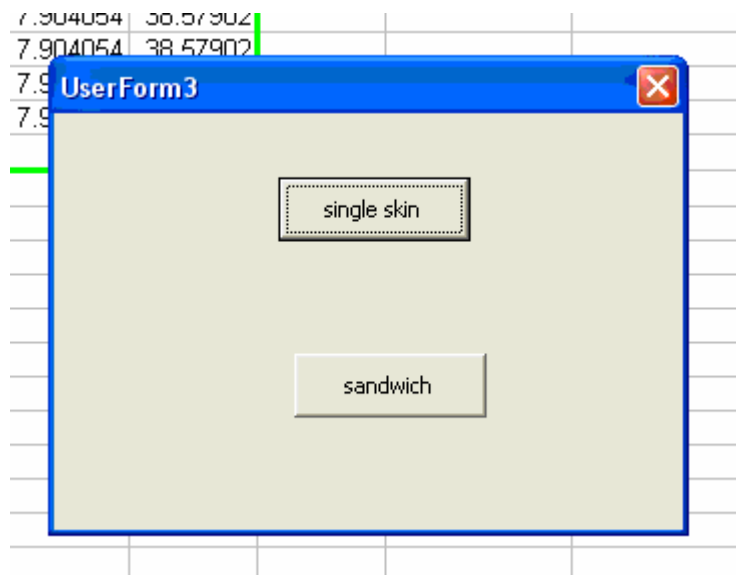


Fig. 7.1.12: Tipologia costruttiva della zona da ottimizzare

e quindi il numero di sezioni Figura 7.1.13 per cui si ha interesse a valute pressioni e spessori.

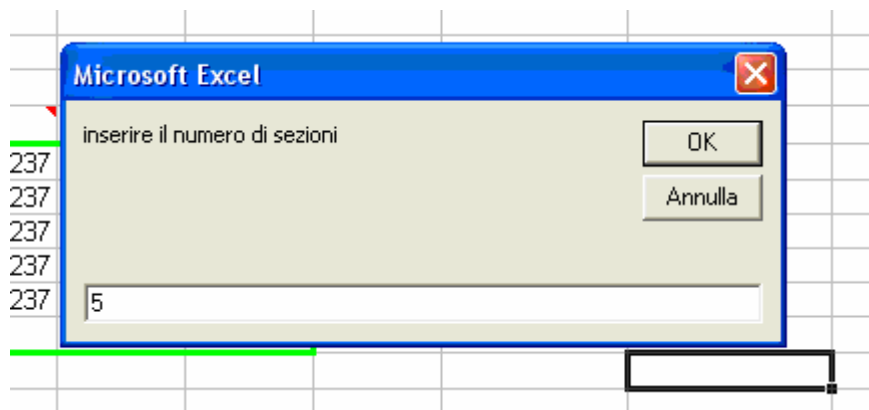


Fig. 7.1.13: Definizione del numero di sezioni di calcolo

Ai fini dell'integrazione di tale routine in ambito MADM è importante precisare che tale passo serve a definire il numero di integrazioni di calcolo. Nel caso in cui, come nel caso oggetto di studio, si voglia investigare la risposta strutturale alla variazione di parametri dimensionali dell'imbarcazione oggetto di ottimizzazione il numero di sezioni altro non è che il numero di alternative oggetto di studio e la larghezza da inserire sarà la corrispondente larghezza caratterizzante l'alternativa considerata.

Una inseriti valori dei parametri e delle variabili coerentemente con quanto precedentemente utilizzato per il modulo idrodinamico e quelli di seakeeping, la routine provvederà a calcolare pressioni e spessori Figura 7.1.14

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Categoria di progetto	a	Caratteristiche dei materiali								
2	Tipo di imbarcazione	a	Ef	7544							
3	Loa	17	suf	187.12							
4	Lwl	14.1									
5	Bwl	4.3									
6	v	30									
7	T	0.95									
8	Delta	29000									
9	Awp	50.86									
10	t	4									
11	x	Bc	β_{eff}	l	b	Pb	h	s	t strenght	t stiffness	tmax
12		1.27	4.072	16.95	2000	511	85.20055	0	511	10.90295887	11.90165806
13		3.27	4.196	17.42	2000	513	88.8638	0	513	11.17843914	12.116992
14		5.27	4.194	19.01	2000	521	85.09241	0	521	11.10914803	12.1289587
15		7.27	4.19	20.4	2000	528	90.74383	0	528	11.6261673	12.55786514
16		9.27	3.82	23.29	2000	544	85.02856	0	544	11.59488487	12.65994644
17		11.27	3.26	28.1	2000	572		0	572		

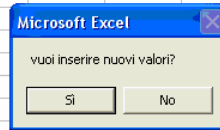


Fig. 7.1.14: Pressioni di calcolo e spessori di laminazione (Caso di ottimizzazione di una struttura in single skin)

Analogamente a quanto impostato per i moduli idrodinamico e di seakeeping qualora l'utente non fosse soddisfatto dei risulta ottenuti potrà reiterare il calcolo variando parametri o variabili Figura 7.1.15

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Categoria di progetto	a	Caratteristiche dei materiali							
2	Tipo di imbarcazione	a	Ef	7544						
3	Loa	17	suf	187.12						
4	Lwl	14.1								
5	Bwl	4.3								
6	v	30								
7	T	0.95								
8	Delta	29000								
9	Awp	50.86								
10	t	4								
11	x	Bc	β_{eff}	l	b	Pb	h	s	t strenght	t stiffness
12		1.27	4.072	16.95	2000	511		0	511	
13		3.27	4.196	17.42	2000	513		0	513	
14		5.27	4.194	19.01	2000	521		0	521	
15		7.27	4.19	20.4	2000	528		0	528	
16		9.27	3.82	23.29	2000	544		0	544	
17		11.27	3.26	28.1	2000	572		0	572	

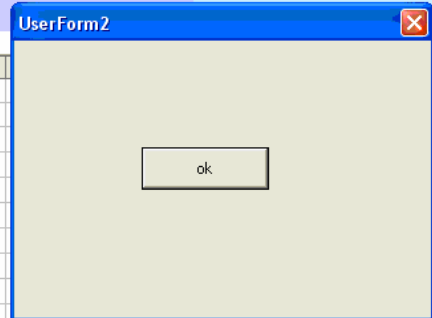


Fig. 7.1.15: Reiterazione del modulo strutturale

ovvero utilizzare il valori ottenuti quali valore per gli attributi per il modulo strutturale. Anche nell'abito del modulo strutturale la routine provvederà a fare le verifiche di applicabilità del caso essendo però in tal caso di più ampio respiro essendo la ISO 12215-5 [36] valida per tutte le imbarcazioni da diporto e quindi con l'unico limite di $L_h=24$ m valutata secondo la ISO ISO 8666:— Small craft — Principal data ed essendo le caratteristiche dei materiali utilizzati definite dalla ISO 12215-3:—1) Small craft — Part 3: Materials — Steel, aluminium, wood, other materials.

Le informazioni sugli attributi derivanti dai sopraccitati moduli confluiscono nell'ultima routine della catena di calcolo basata sul lavoro proposto da Ma, Fan e Huang [13]. Figura 7.1.16



Fig. 7.1.16: Applicazione della procedura MADM- Metodo di Ma Fan Huang

La routine di seguito descritta è il frutto dell'implementazione sequenziale di 12 differenti subroutine, il cui funzionamento è possibile dividere idealmente in tre differenti step. Il primo porta ad ottenere i pesi legati alla sensibilità ed al gusto del progettista. I pesi ottenuti saranno quindi soggettivi. Successivamente verrà calcolato il valore dei pesi legati all'intrinseca importanza degli attributi attraverso i pesi oggettivi. In ultimo verrà implementato il metodo integrato di Ma Fan Huang.

Il primo passo consiste quindi nel definire il numero degli attributi che si vogliono considerare al fine dell'ottimizzazione delle alternative Figura 7.1.17, tale richiesta nasce, essendo la tecnica proposta da Ma, Fan e Huang [13] basa sul calcolo matriciale, dal necessità della routine di definire la dimensione della matrici oggetto di calcolo che si configurano quindi come matrici dinamiche.

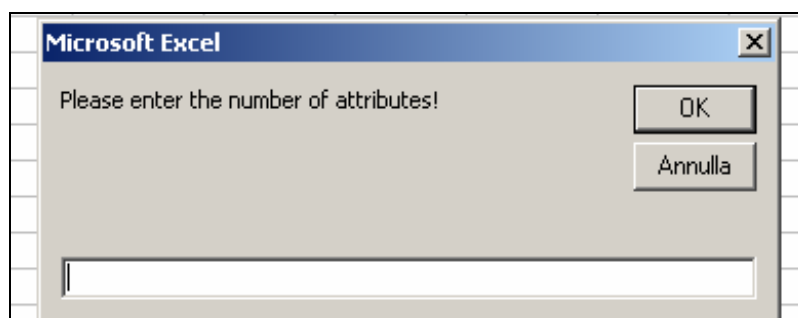


Fig 7.1.17: Definizione del numero di attributi

Mentre l'approccio soggettivo è legato ai valori della matrice di comparazione come di seguito esplicitato, al fine di tenere in debito conto tutte le informazioni fornite dal valore numerico degli attributi, il sistema richiede quanti degli attributi che si vogliono utilizzare devono essere considerati come costi Figura 7.1.18

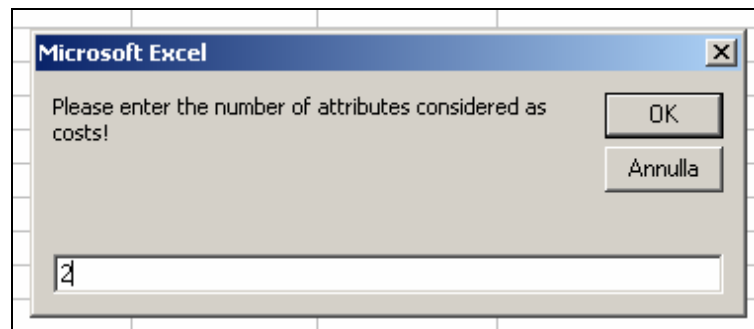


Fig. 7.1.18: Definizione del numero di attributi considerati come costi

Sulla base di questa informazione la routine provvederà nel calcolo dei pesi oggettivi ad utilizzare, per il calcolo del valore normalizzato degli attributi, formulazioni analitiche differenti.

Una volta definito il numero degli attributi verrà richiesto il nome di ogni singolo attributo Figura 7.1.19

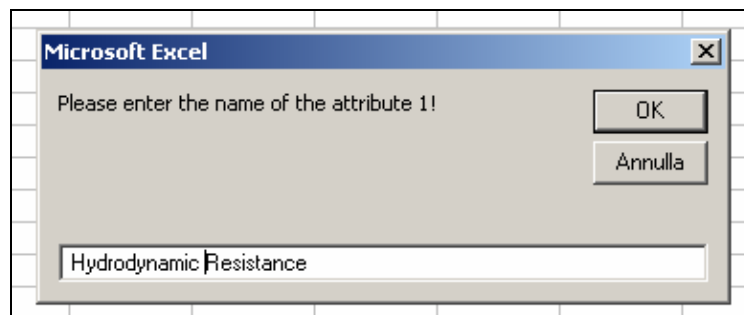


Fig. 7.1.19: Nome da assegnare agli attributi per il loro riconoscimento

Dati sino ad ora inseriti sono propedeutici all'impostazione generale del problema di calcolo.

Per ottenere il valore dei pesi soggettivi è necessario che l'utente definisca l'importanza reciproca degli attributi Figura 7.1.20

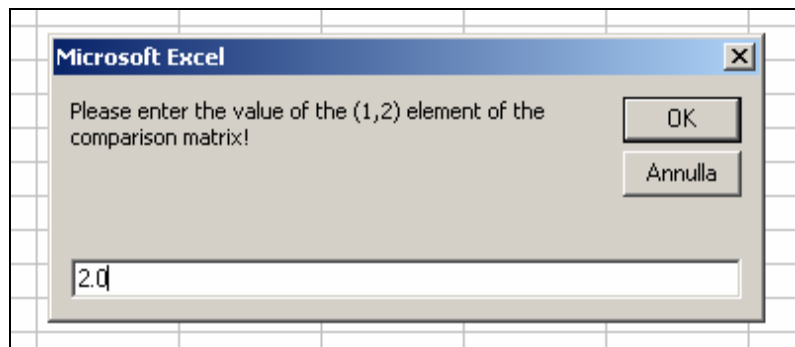


Fig. 7.1.20: Definizione della Matrice di Comparazione

Il tali valori saranno inseriti nella parte triangolare superiore della matrice di comparazione Figura 7.1.21 (zona grigia)

	Attrib. 1	Attrib. 2	Attrib. 3	Attrib. 4
Attrib. 1		a_{12}	a_{13}	a_{14}
Attrib. 2			a_{23}	a_{24}
Attrib. 3				a_{34}
Attrib. 4				

Fig. 7.1.21: Matrice di Comparazione

Il codice di calcolo provvederà a completare la sopracitata matrice soddisfacendo le seguenti due condizioni

$$a_{ii} = 1 \quad \text{e} \quad a_{ij} = 1/a_{ji} \quad \text{for } i, j = 1, 2, \dots, n.$$

La consistenza della matrice di comparazione viene quindi valutata attraverso l'espressione

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (7.1.1)$$

In cui λ_{\max} è il più grande autovalore della matrice di comparazione. Il valore di CI secondo quanto suggerito da Saaty [29] è maggiore di 0.12 viene visualizzato una message box che esorta a controllare e re inserire i valori della matrice di comparazione Figura 7.1.22

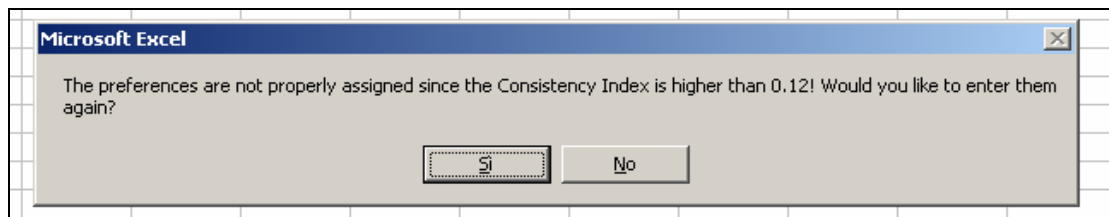


Fig 7.1.22: Controllo dell'Indice di Consistenza

Sulla base dei valori inseriti vengono quindi calcolati i valori dei pesi soggettivi che vengono visualizzati in un data sheet dedicato Figura 7.1.23

	B	C	D	E	F	G
F Matrix					Subjective Weights	
	3,3	-2,5	-2,0		0,4649	Resistance (cost)
	-2,5	6,1	-3,3		0,3405	Loads (cost)
	-2,0	-3,3	12,0		0,1946	Operability (benefit)

Fig 7.1.23: Calcolo dei Pesi Soggettivi

Successivamente al calcolo dei pesi soggettivi il sistema carica un message box che richiede all'utente se desidera formalizzare il metodo oggettivo o passare direttamente a quello integrato Figura 7.1.24.

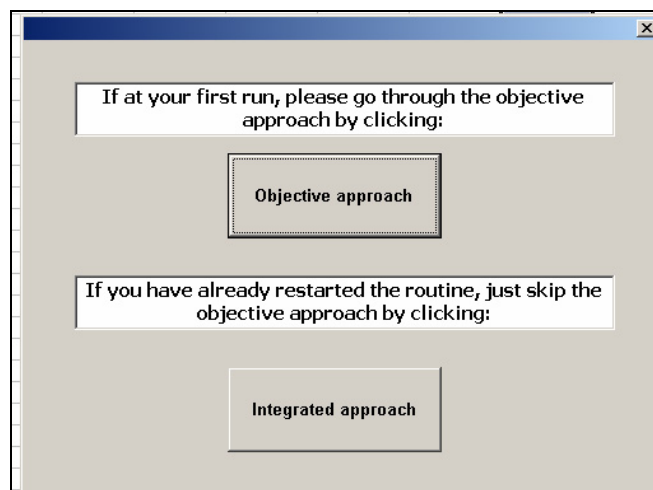


Fig. 7.1.24. Message box di interfaccia utente

Questa eventualità si presenta nel caso in cui sia già effettuato una prima valutazione completa del metodo di Ma-Fan-Huang e il designer desideri variare i valori inseriti

nella matrice di comparazione mantenendo invariati i valori degli attributi per le alternative selezionate.

Volendo approcciare per la prima volta al calcolo l'utente selezionerà il pulsante relativo all'approccio oggettivo e gli verrà richiesto di definire il numero delle alternative da valutare Figura 7.1.25

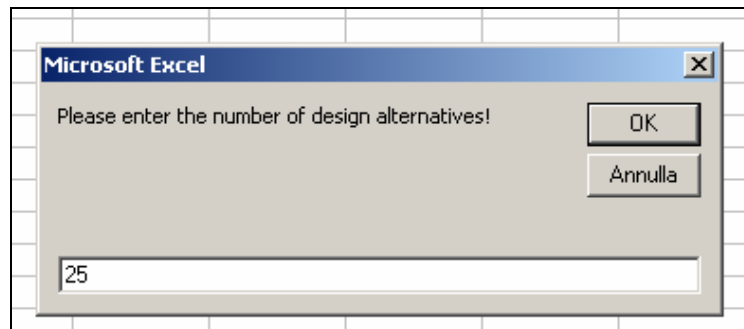


Fig. 7.1.25: Definizione del numero di alternative da considerare

A questo punto il sistema provvederà a definire in un data sheet dedicato le celle in cui inserire i valori degli attributi al fine di definire la matrice decisionale del problema Figura 7.1.26

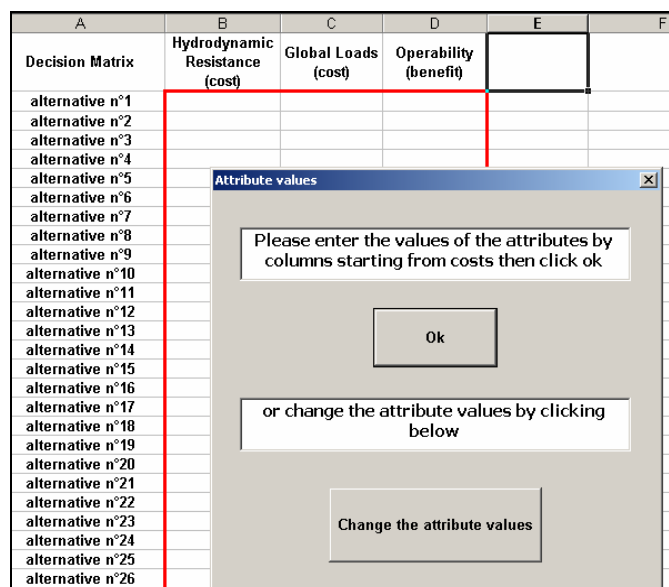


Fig. 7.1.26: Inserimento del valore non normalizzato degli attributi

Dopo aver inserito i valori richiesti il progettista darà il suo assenso al calcolo tramite il pulsante "OK" inserito in un message box precedentemente caricato e il codice provvederà

ad effettuare un'analisi di coerenza dei valori inseriti, qualora fosse identificato qualche valore non numerico verrà caricata a video la richiesta di controllo e variazione dei valori di attributi inseriti Figura 7.1.27

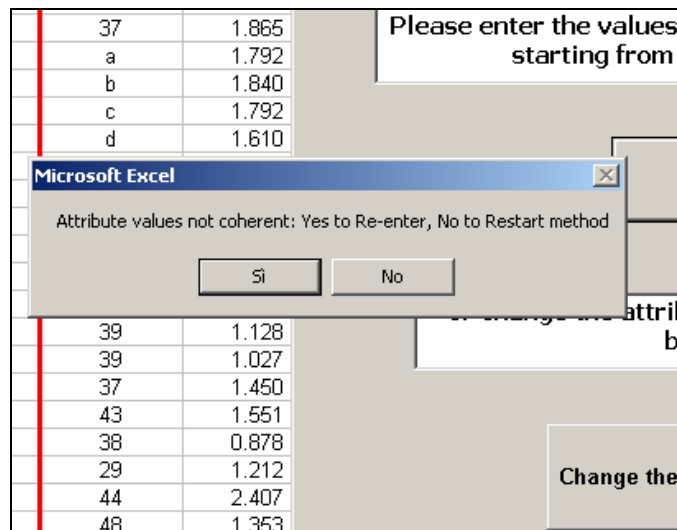


Fig. 7.1.27: Verifica di coerenza per gli attributi

Dai valori degli attributi inseriti e a seconda di quanti di questi devono essere considerati come costi e normalizzati attraverso:

$$p_{ij} = \frac{y_j^{\max} - y_{ij}}{y_j^{\max} - y_j^{\min}} \quad (7.1.2)$$

Ovvero benefici e normalizzati tramite:

$$p_{ij} = \frac{y_{ij} - y_j^{\min}}{y_j^{\max} - y_j^{\min}} \quad (7.1.3)$$

Viene ottenuto il valore dei pesi oggettivi attraverso il metodo proposto da Fan [14], i pesi così ottenuti vengono visualizzati in un data sheet dedicato Figura 7.1.28

	B	C	D	E	F	G
H Matrix					Objective Weights	
6,608398	0	0			0,5178	Resistance (cost)
0	13,10589	0			0,2611	Loads (cost)
0	0	15,47244			0,2211	Operability (benefit)

Fig. 7.1.28: Calcolo dei Pesi Oggettivi

In ultimo il codice carica la routine relativa al metodo integrato. Questo step viene evidenziato dalla richiesta di fornire l'importanza relativa dell'approccio soggettivo rispetto a di quello oggettivo all'interno del metodo integrato attraverso il coefficiente α Figura 7.1.29

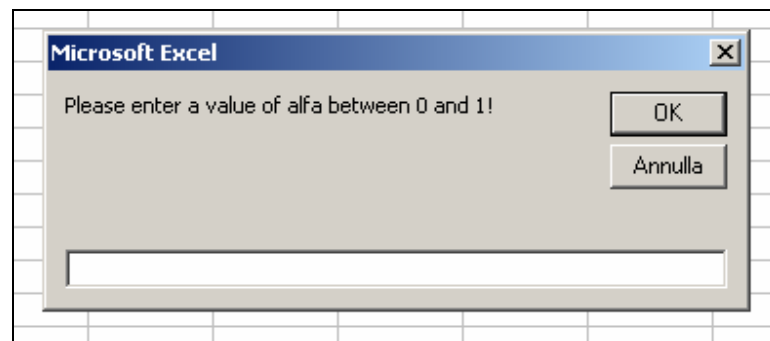


Fig. 7.1.29: Definizione dell'importanza relativa tra l'approccio soggettivo e quello oggettivo attraverso la definizione del coefficiente α

Il valore di α deve essere compreso tra 0 ed 1, se erroneamente è stato inserito un valore numerico che non soddisfacesse tale condizione verrà visualizzato il messaggio Figura 7.1.30



Fig. 7.1.30: Controllo di coerenza per il coefficiente α

Se tale condizione è soddisfatta finalmente il codice proposto provvede a fornire il valore dei pesi integrati Figura 7.1.31

	B	C	D	E	F	G
	Matrix Q = (alfa) * F + (beta) * H				Integrated Weights	
	8,883398	-1,4	-1,75		0,4998	Resistance (cost)
	-1,4	15,24964	-2,975		0,3218	Loads (cost)
	-1,75	-2,975	30,87244		0,1784	Operability (benefit)

Fig. 7.1.31: Calcolo dei pesi Intergrati

Contemporaneamente al calcolo dei pesi integrati, il codice provvede a fornire la classifica finale delle alternative sulla base del valore di quattro condizioni differenti. In particolare utilizzando il concetto di distanza dal progetto ideale valutato tramite:

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left[(1 - p_{ij})^2 \cdot w_j^2 \right]} \quad (7.1.4)$$

viene fornita la classifica finale in assenza di pesi assegnati, sulla base dei valori dei pesi soggettivi, sulla base dei valori dei pesi oggettivi e sulla base dei valori dei pesi integrati come da Figura 7.1.32

	A	B	C	D	E	F
	Ranking list	Alternative number	No weights		Alternative number	Subjective approach
	1	14	0.597		12	0.159
	2	10	0.780		11	0.167
	3	12	0.896		3	0.172
	4	3	0.924		10	0.173
	5	6	0.932		14	0.231
	6	4	0.966		6	0.392
	7	11	1.003		4	0.404
	8	8	1.032		8	0.435
	9	5	1.033		5	0.440
	10	7	1.071		7	0.449
	11	13	1.088		9	0.451
	12	9	1.134		13	0.469
	13	15	1.159		15	0.486
	14	1	1.252		2	0.528
	15	2	1.279		1	0.529

Fig. 7.1.32: Ranking list delle alternative di progetto

e contemporaneamente vengono visualizzati in forma grafica le migliori dieci alternative valutate sulla base delle quattro sopracitate classifiche, Figura 7.1.33

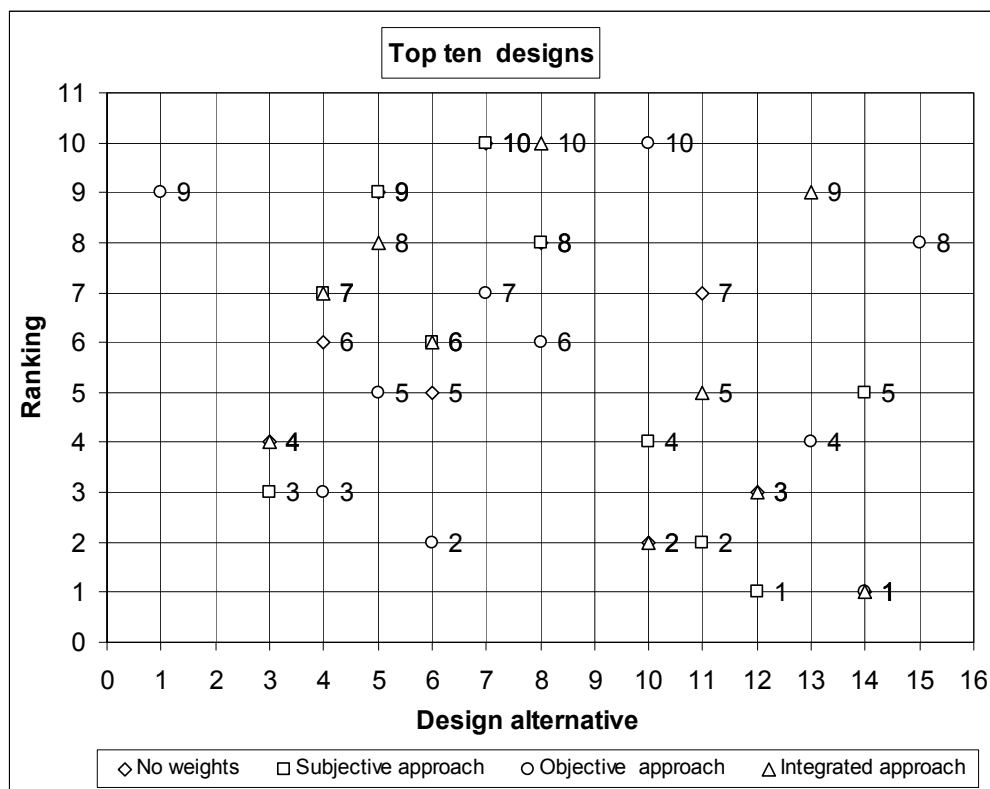


Fig. 7.1.33: Grafico della Ranking list per le migliori 10 alternative

Se l'utente è soddisfatto dei risultati ottenuti uscirà dal codice di calcolo per analizzarli approfonditamente altrimenti potrà riavviare la routine per procedere a nuove elaborazioni Figura 7.1.34.

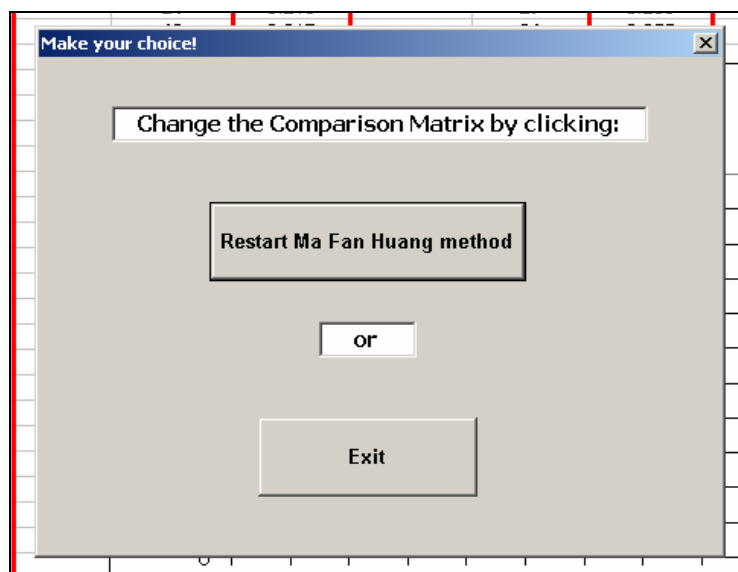


Fig. 7.1.34: Richiesta di reiterazione della procedura MADM

Ovviamente ciò dipenderà dalla confidenza che questi ha con l'intera procedura.

Le nuove elaborazioni potranno quindi essere condotte sia con riferimento alla sola routine basata sulla procedura MADM proposta da Ma, Fan e Huang [13], sia riprendendo le routine relative ai moduli di progetto per procedere ad analizzare ulteriori alternative sulla base di nuovi parametri, nuove variabili e nuovi limiti.

8. CONCLUSIONI

8 CONCLUSIONI

Le tecniche MADM nascono allorquando altri settori dell'ingegneria, legati a produzioni industriali sempre più attente ai dettagli, hanno sentito l'esigenza di aggiungere a quanto di noto ci fosse nelle metodologie progettuali degli elementi di novità che consentissero snellire il processo di ottimizzazione alla base della progettazione di un mercato in forte espansione.

Tale espansione si è riscontrata anche nell'ambito della produzione di navi ad alte prestazioni o comunque fortemente specializzate, ed ha avuto, negli ultimi anni, come logica conseguenza un maggiore interesse da parte degli ambienti scientifico universitari all'approfondimento delle tematiche progettuali di tali unità sia nella configurazione di monoscafi che in quella di multiscafi.

Le indagini condotte su questa tipologia di imbarcazioni presso il Dipartimento di Ingegneria Navale dell'Università degli Studi "Federico II" di Napoli e presso altri centri di ricerca hanno evidenziato che ai fini dell'ottimizzazione degli aspetti idrodinamici, la resistenza al moto, se pur elemento su cui il progettista pone la maggior parte della sua attenzione, non è il solo aspetto da tener in considerazione per fornire ad un utente finale, per il quale velocità e comfort sono elementi egualmente considerati in un prodotto di elevato valore aggiunto.

L'analisi dei fenomeni congiunti, resistenza al moto ed seakeeping, ha portato a riconoscere la conflittualità con cui convivono questi due aspetti nella progettazione. Il miglioramento di un aspetto spesso produce un peggioramento dell'altro.

Sulla base delle precedenti considerazioni ed in virtù anche dell'evoluzione dello stato dell'arte della progettazione oggi più orientata a considerare "il progetto a 360 gradi", è nata l'idea di scandagliare la possibilità di utilizzo delle tecniche MADM in ambito navale ai fini dell'ottimizzazione simultanea di più parametri per uno scafo a sostentamento idrodinamico.

Le peculiarità di tali metodologie che consentono di raffrontare tra loro più requisiti progettuali all'interno dello stesso progetto e di più progetti sulla base degli stessi requisiti progettuali spesso in conflitto tra loro, ne fanno uno strumento ideale di sviluppo ed ottimizzazione per tutti quegli aspetti che la sola sensibilità del progettista non è sufficiente a risolvere.

E' necessario a questo punto porre l'attenzione sui termini "sola sensibilità" il cui utilizzo non è casuale. Una buona progettazione, infatti, non può prescindere dalla

componente umana che può fornire solo chi ha maturato nel corso degli studi e della vita professionale esperienza e gusto, ma non può prescindere neanche da aspetti che devono oggettivamente essere considerati in ambito progettuale. Nasce allora il problema sia di coniugare queste indispensabili qualità del progettista con una metodologia che consenta di ottenere le massime informazioni contenute negli aspetti progettuali oggetto di ottimizzazione, sia di fornire queste due componenti attraverso l'utilizzo di strutture di preferenza – pesi -che portino in conto entrambi gli aspetti.

Il panorama delle tecniche MADM attualmente in uso ha fornito la risposta a questa problematica attraverso la metodologia di Ma Fan Huang. Tale tecnica utilizza un metodo integrato per la determinazione dei pesi basato sulla combinazione di un approccio soggettivo in cui i pesi ottenuti riflettono il giudizio, il personale intuito e l'esperienza del progettista e di uno oggettivo in cui i pesi determinati mediante, un modello matematico, consentono di svincolarsi completamente della soggettività del giudizio.

Una volta inquadrati, come sopra descritto, i termini del problema nella seconda parte del lavoro di tesi si è cercato di proporre un'applicazione coerente della metodologie MADM.

Si sono quindi da una parte sviluppati i moduli base di progetto necessari all'ottimizzazione secondo gli aspetti sopra descritti e dall'altra si è identificato un software di larga disponibilità commerciale che potesse essere di supporto, del lavoro fatto, nella pratica professionale.

I moduli di progetto non hanno la pretesa di essere esaustivi sia nel numero sia negli aspetti descritti. Si pensi ad esempio alla possibilità di introdurre nel processo di ottimizzazione moduli di costo, comfort acustico e quanto altro ancora possa essere sviluppato e considerato di immediata utilità nella ottimizzazione e nella valutazione di un progetto rispetto ad un altro.

Per contro l'algoritmo di calcolo proposto è nel suo insieme esaustivo per il problema oggetto di discussione della presente tesi portando essi a compimento l'intero processo valutativo in tutti gli aspetti descritti e previsti dalla procedura MADM ed essendo inoltre ampiamente integrabile con ulteriori moduli che il progettista volesse aggiungere a miglioramento di quanto già fatto.

In ultimo, l'algoritmo di sviluppo ed implementazione del metodo di Ma Fan Huang risulta essere assolutamente generico e quindi applicabili a qualsivoglia problema di progetto navale non limitato dai moduli considerati.

BIBLIOGRAFIA

1. BARONE M., BEGOVIC E., BERTORELLO C., *Multiattribute Procedure for Basic Design of Trimaran Fast Ferries*, NAV, Palermo 2003, Vol 2
2. BARONE M., BERTORELLO C., *Design Optimisation of Trimaran Hull by Multiattribute Concept*, PRADS 2004, Lübeck Travemünde, Germany
3. BARONE M., *Multiattribute Concept Design Model of a Trimaran Hull Form*, P.h.d. thesis, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Naples "Federico II", Italy 2003
4. BARONE M., BERTORELLO C., STELLA M., *Multiattribute Decision Techniques in Ship Design*. Proceedings of intern. symp *HIPER 2004*, Rome, ITALY
5. BARONE M., BEGOVIC E., BERTORELLO C., STELLA M., *Preference communication in multiattribute procedures for optimised ship design*, IMAM 2005
6. BEGOVIC E., *Hydromechanical Module in the Multicriterial Design Model of Fast Vessels. Master thesis (in Croatian)*, University of Zagreb, Croatia 1998.
7. BEGOVIC E., BERTORELLO C., BRUZZONE D., CASSELLA P., ZOTTI I., *High Speed Trimarans Validation of Numerical Results by Geosim Tests*, Proc FAST 2001, Southampton, Vol 2, pp 285-294
8. BERTORELLO C., BRUZZONE D., CASSELLA P., ZOTTI I., *Experimental Performance Investigation on Different High Speed Crafts: Monohull Catamaran and Trimaran*, HIPER 2001, Hamburg, pp 107-114
9. BERTORELLO C., STELLA M., *Hydrodynamic design model for planing craft*, ICHD 2006
10. CALLAGHAN A.R., LEWIS K.E., *A Phase Aspiration Level and Utility Theory Approach to Large Scale Design*, DETEC 2000/DTM-14569
11. CHU A.T.W., KALABA R.E., SPINGARN K., *A comparison of two methods for determining the weights belonging to fuzzy sets*. Journal of Optimisation Theory and Applications 1979, 27/4, 531-538.
12. COCCOLI D., SCAMARDELLA A., *High Speed Craft in Gulf of Naples. Proceedings of 7th intern. Conference FAST 2003*, Ischia, ITALY
13. FAN Z.P., MA J., HUANG L.H., *A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights*, (http://www.is.cityu.edu.hk/Research/Working_Papers/working_paper98.htm), 1998
14. FAN Z.P., *Complicated multiattribute decision making: theory and applications. Ph.D. Dissertation*, Northeastern University, Shenyang, 1996 P.R.C.
15. FRISMA, *A systematic study of the rough-eater performance on planning boats*, Davidson Laboratory – Stevens Institute of Technology Report n. SIT-DL-71-1495, 1971
16. FRISMA, *Procedures for hydrodynamic evaluation of hulls in smooth and rough water*. 1976

17. FUNG S. C., *Resistance and Powering Predictions for Transom Stern Hull Forms During Early Stage Ship Design*. SNAME 1991 Transactions, Vol. 99
18. GRUBISIC I., *Multi criteria concept design model of fast catamaran*, IMAM, Dubrovnik, 1995, Croatia
19. GRUBISIC I., BEGOVIC E., KRILIC T., *Multi-attribute concept design model of search and rescue vessels*, HSMV, Napoli 2002 Italy
20. GRUBISIC I., BEGOVIC E., ZANIC V., *Concept design model of an outrigger trimaran ferry*, IMAM, Istanbul 1997, Turkey
21. GRUBISIC I., BEGOVIC E., *Resistance prediction of the fast round bilge hulls at the concept design vessel*. Proceedings of intern. symp IMAM 2000, Ischia, ITALY
22. GRUBISIC I., BEGOVIC E., *Multi-attribute concept design model of the Adriatic type of fishing vessel*, Brodogradnja 2001, Vol. 49, No. 1, pp. 39-54
23. GRUBISIC I., BEGOVIC E., KRILIC T., *Multi-criteria ship selection procedure*, International Design Conference, Dubrovnik 2000
24. GRUBISIC I., BEGOVIC E., *Multi-attribute concept design model of patrol, rescue and antiterrorist craft*, FAST 2003, Ischia, Napoli, Italy
25. KARAYANNIS T., MOLLAND A. F., WILLIAMS Y., *Design data for high speed vessels*. Proceedings of intern. symp FAST 1999, Seattle, USA
26. KORHONEN P., *Multiple Objective Programming Support*, Interim Report, IR 1998-010/March
27. *Lloyd's Register* 1996
28. PAOLUCCI M., *Metodi Decisionali Multi Criterio*, DIST 2000, Università di Genova
29. SAATY T.L., *The Analytic Hierarchy Process*. Mc Grow-Hill 1980, New York
30. SAVITSKY D., *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*, 1964 New York
31. SAVITSKY D., BROWN W., *Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water*, Marine Technology, October 1976 pp.381-400 1976
32. SEN P., YANG J.B., *Engineering design and Multiple Criteria Decision Making*, (<http://www.sciencedirect.com>)
33. SEN P., *Marine Design: The Multiple Criteria Approach*, Transactions of RINA 1992, Vol. 134 pt. B, pp. 261-276
34. SEN P., YANG J.B., *Multiple Criteria Decision Support in Engineering Design*, Springer-Verlag 1998
35. TRINCAS G., BIRIACO A., GRUBISIC I., PONOMAREV A., *Feasibility Study on a High Speed Catamaran: Comparison with Aquastrada*, FAST 1995, Lübeck – Travemünde, Germany
36. UNI EN ISO 12215 parte 1 “Unità di piccole dimensioni – Costruzione dello scafo e dimensionamento – Materiali: Resine termoindurenti, rinforzi di fibra di vetro, laminato

di riferimento” e parte 5 “Small craft – Hull construction and scantlings- Design pressures, design stresses, scantiling determination”

37. VAN OOSSANEN P., *A Concept Exploration Model for Sailing Yacht*, Transactions of RINA 2003, pp.17-28
38. WHITCOMB C.A., *Naval Ship Design Philosophy Implementation*, Naval Engineers Journal 1998